RADIOTECNICA

PARTE III

ANTENNE
ONDE
RADDRIZZATORI

R. WIGAND

EDITRICE IL ROSTRO MILANO

ROLF WIGAND

RADIOTECNICA

Parte terza

ANTENNE, ONDE, RADDRIZZATORI

EDITRICE IL RÒSTRO MILANO

1958

Titolo originale dell'opera
RUNDFUNKTECHNIK
Einführung und praktischer Wegweiser
Teil III
Antennen - Wellen - Gleichrichter
ALBRECHT PHILLER - VERLAG, MINDEN (WESTF)

Traduzione di **Giuseppe Baldan**

Tutti i diritti riservati alla
Editrice il Rostro

Tipografia Edizioni Tecniche - Via Baldo Degli Ubaldi, 6 - Milano

PREFAZIONE

Uno sguardo all'interno di un moderno apparecchio radio ricevente ci rivela un numero elevato di resistenze, condensatori, bobine, circuiti oscillanti in serie e parallelo, traslatori ecc.; tutti questi elementi aventi le più diverse grandezze e forme, scelte secondo i vari scopi, agiscono insieme alle valvole dell'apparecchio.

E' stato compito dei due primi opuscoli, studiare nelle linee fondamentali gli elementi prima citati; è ora opportuno studiare il funzionamento delle valvole per completare il quadro dei componenti un apparecchio elettronico, sia esso un trasmettitore, un ricevitore o un amplificatore.

Per questa ragione nel presente opuscolo saranno ampiamente studiati i vari tipi di valvole e soprattutto il loro comportamento con gli elementi trattati nei primi opuscoli. E' stato dato particolare sviluppo a quegli argomenti che frequentemente sono troppo superficialmente trattati e pertanto costituiscono notevoli difficoltà alla comprensione del lettore. Sono stati pure discussi i principi di funzionamento per le antenne, la modulazione e i battimenti, la demodulazione, i diversi tipi di raddrizzatori e il principio dell'amplificazione.

l'Autore

L'opera completa comprende:

1. Concetti fondamentali I ..... N. 2001
2. Concetti fondamentali II ..... » 2003
3. Antenna, onde, raddrizzatori ..... » 2005
4. Amplificatori per alta e bassa frequenza ..... » 2007
5. Valvole con controreazione - Trasmettitori e ricevitori moderni ..... » 2009

INDICE

		Pag.
1.	Prefazione.	V
2.	Le Antenne	1
3.	La propagazione delle onde elettromagnetiche	6
4.	La modulazione	
5.	I battimenti	14
6.	Le valvole elettroniche	17
7.	Spianamento della corrente raddrizzata	29
8.	Raddrizzatori della tecnica radio	32
9.	La demodulazione	3
10.	Il triodo	4
11.	Il tetrodo	51
12.	Il pentodo	55
13.	Ulteriori possibilità delle valvole	56

Le Antenne

Poichè si possono dare ad un'antenna le caratteristiche desiderate mediante una opportuna conformazione: lunghezza, direzione e alimentazione, nella tecnica delle onde lunghe, medie, corte e ultra corte, sia per ricezione che per la trasmissione, vengono impiegate le più disparate forme di antenne, che generalmente sono note sotto i nomi di antenne di Marconi, di Hertz di Fuchs, a dipolo e a *L*.

L'antenna di Marconi, detta così dal suo inventore, si compone di un filo verticale lungo quanto 1/4 di lunghezza d'onda ($\frac{\lambda}{4}$) o un suo multiplo dispari (per esempio $\lambda \frac{3}{4}$), e ha l'estremità messa a terra (fig. 1). All'estremità vicina alla terra si ha un nodo di tensione e un ventre di

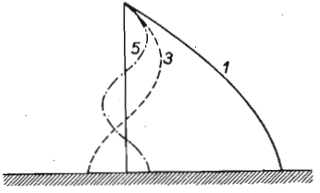

Fig. 1

corrente come indica la fig. 1. Si può considerare l'antenna di Marconi anche come un dipolo, nel quale una metà di conduttore sia stata sostituita con la terra. L'adduzione

di energia ad alta frequenza (alimentazione dell'antenna) avviene generalmente in corrispondenza del ventre di corrente mediante una bobina di accoppiamento (fig. 2*a* e *b*).

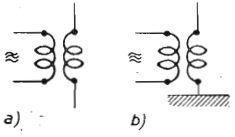

Fig. 2

A causa del basso rendimento l'antenna di Marconi viene impiegata solo in casi speciali.

Nella cosidetta antenna di Hertz o dipolo di Hertz (due poli) la parte messa a terra viene sostituita mediante un secondo conduttore delle stesse dimensioni del primo, essendo ambedue i conduttori disposti orizzontali e diretti verso direzioni opposte. Tutte le antenne a dipolo sono simili a questo prototipo.

L'antenna a dipolo oscilla su una mezza lunghezza d'onda $\lambda/2$ oppure su un multiplo pari; l'alimentazione avviene nella mezzeria del dipolo in corrispondenza del ventre di corrente.

Le antenne a dipolo e le combinazioni di molti dipoli vengono impiegati nel campo delle onde corte e ultra corte, mentre per la trasmissione e la ricezione di onde lunghe si preferiscono generalmente le antenne lineari, formate da fili tesi e diritti ed aventi le più diverse forme di messa a terra; fra le antenne lineari la più nota è l'antenna a *L*.

L'antenna lineare si può pensare come l'autoinduzione « svolta » di un circuito oscillante parallelo, quando alla estremità di esso sia presente un carico capacitivo in forma di superficie metallica (sfera metallica, calza di filo metallico). Se l'antenna ha una lunghezza conveniente, ad una deter-

minata frequenza si verifica una risonanza propria, ciò dimostra che il filo teso non è una autoinduzione pura, ma presenta induttanza e capacità distribuite su tutta la sua lunghezza.

Abbiamo in questo caso un circuito oscillante in serie, il quale per le sue proprietà è atto a trasmettere oscillazioni elettromagnetiche, cioè ad « irradiare ».

Se si considera la distribuzione del campo attorno ad un filo, nel quale gli elettroni corrono da una estremità all'altra e viceversa (fig. 3*a*), si notano le linee di forza magnetiche *m* concatenate con il conduttore e altre linee di forza elettriche *e* colleganti due punti del conduttore (nella figura sono rappresentate naturalmente solo le linee giacenti

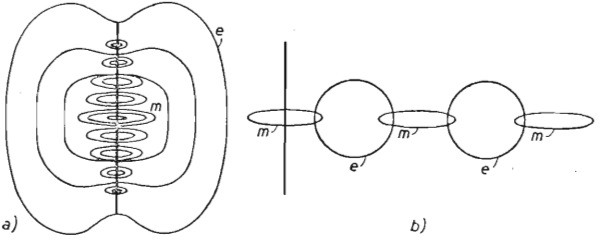

Fig. 3

nel piano del foglio, ma in realtà esse avviluppano il conduttore in tutte le direzioni, sia davanti che dietro). Importante è il fatto che una linea di forza magnetica è legata ad una linea elettrica, mentre quest'ultima è legata con una linea magnetica e così via (fig. 3*b*).

Questa azione reciproca si allarga nello spazio, cioè « l'onda elettromagnetica» abbandona l'antenna e si propaga in tutte le direzioni (esclusa la direzione del conduttore.

L'energia irradiata da un dipolo è naturalmente più elevata di quella di un'antenna a 1/4 d'onda ed inoltre un migliore irradiamento si ottiene alimentando l'atennna con frequenze armoniche.

Poichè l'energia per irradiamento va perduta nel circnito oscillante parallelo in maniera simile a quanto avvieve in una resistenza ohmica, si definisce «resistenza di irradiamento» quella che consumerebbe una quantità di energia pari a quella irradiata.

Se si inserisce in un'antenna (fig. 4*a*) accordta su una

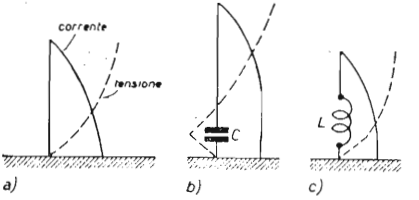

Fig. 4

determinata frequenza, un condensatore (fig. 4*b*), questo risulta in serie con la capacità propria dell'antenna (che deve essere pensata distribuita uniformemente tra antenna e terra) e la frequenza del circuito oscillante parallelo risulta più elevata, oppure a parità di frequenza si deve fare più lungo il filo. Il condensatore si chiama perciò « *condensatore di accorciamento* » poichè esso funziona come riduttore della lunghezza del filo (« *riduzione d'antenna* »). Analogamente una bobina *L* inserita nell'antenna (fig. 4*c*) agisce come se si fosse allungato il filo; è così possibile accordare mediante la « bobina di allungamento » un conduttore troppo corto per la frequenza desiderata. Mediante la combinazione di bobine e condensatori si può dunque sintonizzare l'antenna in un notevole campo di frequenza. Si può definire « antenna normale », quella caratterizzata da

una capacità di 200 pF, una induttanza di 20 μH e una resistenza di 20 Ω (senza conduttore schermato); questi valori possono essere presi come base sia nelle misure che nei calcoli.

Come mostra la fig. 3*b* la propagazione delle onde elettromagnetiche avviene per interazione tra campo elettrico e campo magnetico. Se si pone una grande bobina o una singola spira in modo che il suo piano sia diretto verso il trasmettitore (fig. 5*a*) la spira si trova ortogonale al campo magnetico che induce quindi una f.e.m. in questa bobina. Se si

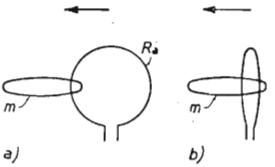

Fig. 5

ruota però la bobina di 90°, in modo che il suo piano sia parallelo al campo magnetico (fig. 5*b*), non si genera in essa nessuna f.e.m. Rispetto ad un dipolo o ad un'antenna messa a terra, una tale « antenna a telaio » ha una direttività, che si utilizza per la determinazione della direzione dalla quale si riceve una trasmissione (molto importante nelle « radiogoniometria » con telai o ricevitori radiogoniometrici), ma utilizzata anche per l'eliminazione della ricezione da una determinata direzione (eliminazione dei disturbi).

Il principio dell'antenna a telaio si ritrova nella moderna forma delle « antenne goniometriche a ferrite » che oggi si trovano su tutti i nuovi ricevitori Super, per ridurre l'effetto di trasmittenti vicine nel campo delle onde medie e lunghe. Se l'antenna a ferrite viene ruotata nella direzione della trasmittente disturbante, la tensione d'ingresso risulta minima e il disturbo è eliminato.

Propagazione delle onde elettromagnetiche

La propagazione delle oscillazioni elettromagnetiche avviene con la velocità della luce, cioè di 300.000 km/sec. Quindi una oscillazione elettromagnetica percorrerebbe la circonferenza del globo terrestre in meno di 1/7 di sec. e lo farebbe 7 volte e mezzo in un sec; ciò succede con le frequenze elevate (onde corte) che possono girare più volte attorno alla terra provocando disturbi indesiderati.

Si consideri ora la propagazione di un'onda completa da un'antenna alimentata ad una frequenza di 1 MHz (1 milione di Hertz). Essa avviene in un milionesimo di secondo (fig. 6*a*), dopo un altro milionesimo di secondo due onde intere hanno abbandonato l'antenna (fig. 6*b*) e dopo

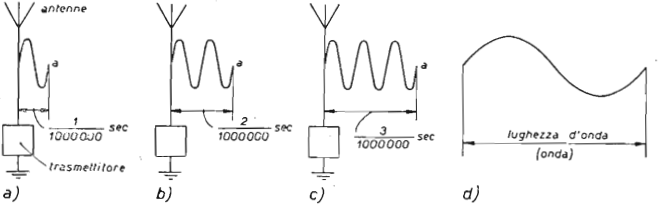

Fig. 6

un'ulteriore milionesimo di secondo si ha una terza onda (fig. 6*c*) e così via, dopo un secondo l'antenna avrà irradiato nello spazio 1 milione di onde. Poichè la *velocità di propagazione* è di 300.000 km al sec. dopo questo tempo si è raggiunto un punto distante 300.000 km. In questo tratto si ha una uniforme ripartizione di 1 milione di onde complete e si può quindi anche calcolare la lunghezza d'onda di ogni singola onda dividendo 300.000 per 1.000.000. La lunghezza d'onda risulta pertanto di 0,3 km ossia 300 m; questa grandezza si chiama « *lunghezza d'onda* » (fig. 6*d*).

Frequenza e lunghezza d'onda sono quindi legate da una relazione; cioè nota la frequenza si può calcolare la lunghezza d'onda e inversamente da quest'ultima la prima con le seguenti formule:

$$\text{Lunghezza d'onda } (\lambda \text{m}) = \frac{300.000}{\text{frequenza } (f \text{ kHz})};$$

$$\text{Frequenza } (f \text{ kHz}) = \frac{300.000}{\text{lunghezza d'onda}}.$$

Le oscillazioni elettromagnetiche con una lunghezza d'onda da 1000 fino a 3000 m ($f = 100 \div 300$ kHz) sono dette onde lunghe, quelle con 200 $\div$ 1000 m ($f = 300 \div 1500$ kHz) sono designate onde medie, quelle tra 100 e 200 m ($f = 1500 \div 3000$ kHz) sono dette onde limiti, quelle tra 100 e 10 m ($f = 3000$ fino 30.000 kHz ovvero 3 $\div$ 30 MHz) sono definite onde corte e infine quelle fra 10 e 1 m ($f = 30 \div 300$ MHz) sono definite onde ultracorte; i limiti delle varie gamme non sono però ben definiti. Tanto più piccola è la lunghezza d'onda, tanto più elevata è la frequenza e inversamente.

Le onde elettromagnetiche si possono misurare anche mediante una riga decimetrica qualora si facciano propagare le stesse su un lungo doppino costituito da due fili paralleli.

All'estremità libera di questa linea a conduttori paralleli (detti « *fili di Lecher* »), in un modo simile a quanto avviene all'estremità libera di una antenna (vedi parte II, pag. 59), si verifica un massimo di tensione e un minimo di corrente; ad una distanza di una semionda dall'estremità si può trovare ancora un massimo di tensione ovvero un minimo di corrente (la misura si fa con un amperometro a filo caldo inserito tra i due fili). Se si misura con la riga la

distanza dei massimi ovvero dei minimi si determina direttamente la lunghezza d'onda in cm o in m.

Senza dubbio un tale procedimento è praticamente impiegabile solo nel caso di onde molto corte, perchè per onde lunghe si richiederebbe una linea di Lecher lunga parecchie centinaia di metri.

La misura di onde lunghe viene perciò eseguita in altra maniera. Ci si basa sul fatto che un circuito elettrico oscillante può essere accordato a diverse frequenze agendo per esempio sulla sua capacità. Al circuito oscillante viene addotta l'onda elettromagnetica da misurare e il circuito viene regolato fino a che un amperometro per alta frequenza (per es. un amperometro a filo caldo) indica la corrente massima. Dal valore dell'autoinduzione e dalla capacità del circuito si può calcolare la frequenza di risonanza e da questa la lunghezza d'onda. Se si esegue dapprima la taratura del *misuratore di onde o di frequenza*, si può naturalmente, usandolo come « campione », misurare anche la frequenza ovvero la lunghezza d'onda di altri apparecchi. Poichè un tale circuito oscillante impiegato per la misura preleva energia dal generatore ad alta frequenza, dal quale viene alimentato, esso viene anche denominato circuito ad assorbimento (ondametro).

Per una misura precisa di onde vengono impiegati anche altri procedimenti, dei quali parleremo più avanti.

La modulazione

Abbiamo già studiato il microfono e abbiano visto che esso è in grado di trasformare oscillazioni sonore in oscilcazioni elettriche. Questa corrente elettrica richiede per la trasmissione un conduttore, perchè le sue oscillazioni al sec, cioè la sua frequenza, è molto bassa (bassa frequenza).

Poichè sappiamo che un'antenna è adatta ad irradiare solo corrente ad alta frequenza, non si può portare direttamente una corrente alternata fonica ad una antenna per inviare le sue onde in una località distante e là trasformarle nuovamente in onde sonore.

E' necessario perciò trovare un altro mezzo che renda possibile trasmettere la corrente fonica mediante l'antenna. Poichè quest'ultima irradia solo oscillazioni ad alta frequenza, si deve « sovrapporre » alle oscillazioni ad alta frequenza le correnti foniche, in modo che l'alta frequenza sia costretta a « portare » la frequenza fonica (da ciò deriva il nome di frequenza portante). All'arrivo è necessario procedere inversamente, cioè separare la frequenza fonica da quella portante che è servita come mezzo di trasmissione. Solo in questo modo è possibile trasmettere la parola e la musica senza l'ausilio del conduttore.

Consideriamo ora più da vicino un generatore ad alta frequenza e le sue proprietà. La f.e.m. generata in esso dipende oltre che da altri fattori, dal numero delle linee di forza che il suo indotto taglia durante la rotazione. Le linee di forza prodotte da un elettromagnete, sono più numerose quando nell'avvolgimento circola una forte corrente (elevata tensione ai suoi terminali) di quando si ha una piccola corrente (bassa tensione).

Se quindi variamo la corrente di magnetizzazione oppure la tensione V ai capi della bobina del magnete, viene ad essere variata anche la f.e.m. e conseguentemente la corrente ad alta frequenza fluente nel circuito esterno. Supponiamo che una tale regolazione della corrente ad alta frequenza avvenga in modo proporzionale alla tensione continua applicata alla bobina del magnete (fig. 7), in modo quindi che a tensione applicata doppia corrisponda anche una corrente doppia e così via. Per esempio con una tensione di $v_a = 10$ V si ha una corrente ad alta frequenza $i_a = 1$ A, con 30 V (v_b) $i_b = 3$ A, e con $v_c = 50$ V una corrente $i_c = 5$ A.

Se portiamo tale corrente ad una antenna di trasmissione, l'ampiezza delle onde irradiate nello spazio varia con la variazione della tensione. Possiamo immaginare che invece di regolare manualmente con un reostato la tensione e conseguentemente la corrente di magnetizzazione, le correnti foniche provenienti dal microfono siano portate assieme ad una corrente continua alla bobina dell'elettromagnete che costituisce l'induttore del generatore di alta frequenza. L'ampiezza dell'alta frequenza è dipendente dalla tensione continua, essa ora si regola però ad un valore fisso. Quando il microfono viene colpito dalle onde sonore, si modifica nello stesso ritmo anche la corrente di magnetizzazione e conseguentemente l'ampiezza dell'onda generata in alta frequenza. Un esempio può rendere più chiaro quanto detto sopra. Secondo la fig. 7 deve essere applicata una tensione continua v_b (= 30 V) per produrre una corrente ad alta fre-

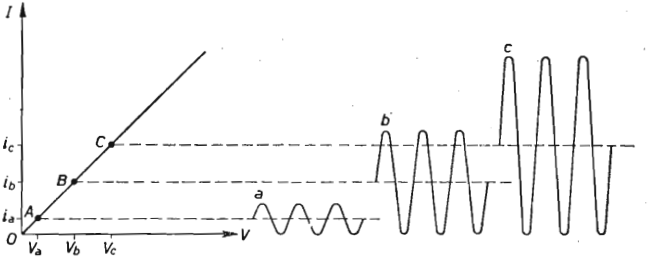

Fig. 7

quenza $i_b = 3$ A (fig. 8*a*). Mediante riduzione della tensione a $v_a = 10$ V, si riduce l'ampiezza dell'alta frequenza a 1 A (i_a), con l'aumento della tensione a $v_c = 50$ V si eleva la corrente a 5 A (i_c).

Se dunque si inserisce nel circuito un microfono e si immagina che esso venga colpito da una tonalità sonora ben

definita si ottiene una onda sinusoidale pura di ampiezza 20 V (fig. 8*b*). (Per ottenere tali elevate tensioni bisogna amplificare opportunamente le correnti microfoniche e noi vedremo più avanti come ciò si può ottenere).

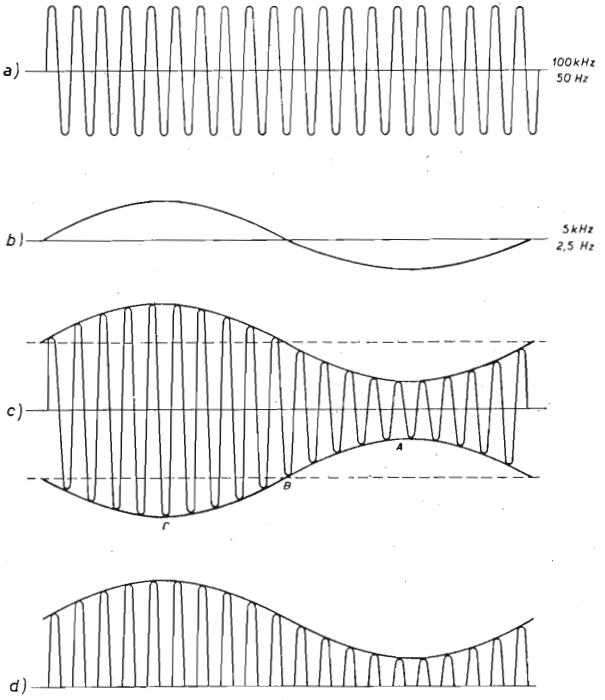

Fig. 8

L'ampiezza dell'onda ad alta frequenza (nel nostro caso 100 kHz) viene aumentata o ridotta dall'onda sonora (nel nostro caso 5 kHz) nella maniera indicata in fig. 8*c*, a se-

conda del segno dell'onda sonora (punti *A*, *B*, *C* nella figura 7 e 8*c*). Questa oscillazione così modificata viene irradiata dall'antenna; l'alta frequenza porta quindi con sè la frequenza fonica di modulazione. Il procedimento sopra descritto si denomina « *modulazione* » e l'onda di fig. 8*c* si chiama « *onda modulata* »; l'alta frequenza si definisce « *frequenza portante* ». E' chiaro che nel caso di un'onda ad alta frequenza con una ampiezza di 3 A, l'ampiezza della corrente fonica di modulazione non deve essere superiore a questo valore. Il rapporto tra ampiezza dell'onda sonora e ampiezza dell'onda ad alta frequenza si denomina *grado di modulazione* e lo si misura in per cento dell'ampiezza della portante. In fig. 8*c* esso è di 2/3 oppure 66,66%. Se la corrente fonica avesse un'ampiezza di 3 A (oppure di 30 V), la modulazione sarebbe 1/1 oppure 100%. I moderni trasmettitori sono costruiti in modo da consentire almeno un grado di modulazione dell'80%, però generalmente ammettono anche il 90% senza distorsioni e in parecchi casi è anche ammesso un rapporto di modulazione del 100%. Una modulazione superiore al 100%, produce distorsioni e pertanto nei trasmettitori essa viene evitata mediante opportuni dispositivi di controllo e regolazione, talvolta completamente automatici. Nelle normali trasmissioni radio il grado di modulazione medio è compreso tra il 15 e il 20%, esso tuttavia deve avere un elevato campo di gioco, potendosi talvolta verificare temporaneamente una modulazione del 100% (per es. per colpi di tamburo). Del resto nella pratica si è costretti generalmente a prescrivere anche un grado di modulazione minimo « *livello minimo* », perchè si verificano dei disturbi (sia negli impianti di trasmissione che in quelli di ricezione) che devono essere eliminati anche con una debole modulazione.

Il tipo di modulazione precedentemente nominato e disegnato in fig. 8 si chiama modulazione di ampiezza, poichè in questo caso è l'ampiezza della frequenza portante

che viene modificata in base alla frequenza fonica. I nostri trasmettitori a onde lunghe e medie lavorano esclusivamente con questo tipo di modulazione.

Negli ultimi anni e precisamente con l'introduzione della radio a onde ultra corte, ha trovato impiego un altro tipo di modulazione, la cosidetta modulazione di frequenza. Contrariamente al tipo sopra descritto, in questo caso si modula la frequenza della portante, cioè il numero dei periodi al sec, e si lascia costante l'ampiezza.

La modulazione di frequenza che permette una perfetta riproduzione sonora, può essere impiegata solo nel campo delle onde ultra corte, perchè nella trasmissione essa interessa notevoli bande laterali che sono ancora disponibili soio in questo campo.

I ricevitori che funzionano a modulazione di frequenza devono possedere uno speciale demodulatore per ottenere la frequenza fonica. A questo proposito consigliamo di leggere il libro: Tecnica di ricezione in onde ultra corte (n. 1081) (1).

Torniamo ora alla modulazione di ampiezza. Se si portano al ricevitore le onde raccolte dall'antenna (fig. 8*c*, in scala ridotta) direttamente alla cuffia di ascolto, non si ha la possibilità di sentire nulla.

La ragione è che la membrana non può seguire le rapide oscillazioni ad alta frequenza, il cui valore medio è nullo.

Se si riuscisse però a separare la metà superiore come in fig. 8*d* della intera onda (rappresentata in fig. 8*c*) ,la corrente che raggiunge la cuffia sarebbe in grado di trasmettere alla relativa membrana le oscillazioni a frequenza fonica. La parte dell'onda ad alta frequenza che rimane non ha in questo caso, alcun effetto di disturbo.

Vogliamo studiare ora un altro fenomeno che si presenterà spesso nel seguito.

---

(1) Fà parte di una collana di cinque volumetti dal titolo: *Trasmissione* e *ricczione onde corte* e *ultracorte*, – Editrice il Rostro.

I battimenti

Nella scuola abbiamo assistito a molti esperimenti scientifici che poi abbiamo dimenticato perchè ci sembravano troppo inutili.

Questa è stata certamente anche la fine dell'esperimento con i due diapason. Ciascuno di loro era montato su una scatola di legno aperta, se si urtava la forchetta essa mandava un suono abbastanza elevato. Uno dei due diapason aveva un fermaglio infilato su uno dei bracci della forchetta, urtandolo dava un suono più basso. Se si facevano vibrare contemporaneamente i due diapason uno dei quali era tarato sul « tono di accordo » o con 435 periodi al secondo e l'altro su un tono di 433 periodi al secondo, si verificava un fenomeno strano. Infatti non s'udivano più i due toni distinti ma si sentiva un unico suono oscillante che aumentava e diminuiva di intensità a regolari intervalli di tempo. Con il cronometro si poteva verificare che in un secondo si avevano esattamente due di queste « *oscillazioni* ». Se si accordava il secondo diapason su 430 periodi al secondo (Hz), le oscillazioni si facevano più rapide (cinque al secondo). Il fatto che la presenza contemporanea di due suoni di frequenza diversa dia origine ad un unico tono la cui intensità oscilla con una frequenza pari alla differenza delle due frequenze primitive non cambia se si aggiunge un terzo diapason. I tre diapason possono per esempio essere accordati sulle frequenze di 431, 433 e 435 Hz. Anche in questo caso si sente un solo tono la cui intensità oscilla con una frequenza di 2 Hz. E' come se il tono fosse modulato con la frequenza di oscillazione (2 Hz). In realtà si hanno tre toni, tre frequenze di ampiezza costante.

Una esperienza simile si può fare anche con due o con tre generatori di oscillazioni ad alta frequenza. Supponiamo

di avere tre frequenze di 101, 100 e 99 kHz e supponiamo di inviarle contemporaneamente nello stesso circuito, si otterrà, in modo completamente analogo al precedente, una frequenza di oscillazione che in questo caso è di 1 kHz. Si ottiene ancora un diagramma simile a quello della fig. 8*c*, cioè una alta frequenza, con l'ampiezza oscillante, modulata. Che sia proprio così si può dimostrare eliminando metà dell'onda (fig. 8*d*, vedremo più avanti come si fà) e portandola ad una cuffia. Si sentirà un suono di 1 kHz. L'esperimento riesce anche con due sole frequenze spostate di 1 kHz, per esempio 99 e 100 kHz oppure 100 e 101 kHz.

Da tutto ciò possiamo trarre ora qualche conclusione. Primo: se si combinano tre tensioni di frequenza diversa di cui una stia in mezzo alle altre due si ottiene una tensione risultante la cui ampiezza oscilla nel ritmo delle differenze di frequenza. Inversamente si può allora dire: « Se l'ampiezza di una tensione di una determinata frequenza (portante) oscilla in un certo ritmo, per esempio quello della frequenza modulata della fig. 8, si generano due nuove frequenze esattamente simmetriche rispetto alla frequenza originaria che sono spostate da essa esattamente della frequenza di modulazione ». Se per esempio si modula una frequenza di 100 kHz con una di 5 kHz (fig. 8) si generano due nuove frequenze di 95 e 105 kHz. Queste ultime si chiamano « *frequenze laterali* ». Se una frequenza portante viene modulata con tutte le possibili frequenze foniche, per esempio con le frequenze da 30 a 10.000 Hz, si ottengono ai lati della frequenza portante due « bande laterali » che nel nostro caso da un lato vanno da 90 kHz a 99,97 kHz e dall'altro lato da 100,03 kHz a 110 kHz. Le stazioni radio a causa del loro grande numero devono trovare tutte posto nelle limitate gamme di frequenza e perciò esse sono scaglionate in media a distanze di 9 kHz, cosicchè l'ampiezza delle bande, laterali è forzatamente limitata a 4,5 kHz. La presenza delle frequenze laterali si può dimostrare anche con l'ondametro. Se per

esempio si modula la 100 kHz con 10 kHz si nota con l'ondametro è in risonanza per le tre frequenze di 90, 100 e 110 kHz. Se con un trasmettitore radiotelegrafico si trasmettono degli impulsi corti e lunghi, di frequenza e ampiezza costante, (con un tasto morse si inserisce e interrompe la corrente di antenna) nella cuffia di un ricevitore, se si elimina metà dell'onda, si sentono dei segnali (corrispondenti alle improvvise variazioni di posizione della membrana che si hanno all'inizio e alla fine di ogni impulso). Se si riceve un trasmettitore con una frequenza di 100 kHz e se nel posto di ricezione si genera con un piccolo *oscillatore ausiliario* (*o locale*) una frequenza di 101 o 99 kHz e la si mescola con quella del trasmettitore ne nasce una oscillazione che può essere resa udibile nel modo già ricordato. In questo caso si parla di « *ricevitore eterodina* ». Il fenomeno che si verifica quando si mescolano due onde di frequenza poco distante, si chiama « *battimento* ».

Supponiamo di avere un trasmettitore che genera una frequenza nota e precisa, è possibile con esso trovare esattamente un altro trasmettitore sulla sua stessa frequenza. Infatti quando i due trasmettitori differiscono di poco in frequenza l'oscillazione che ne nasce è udibile e il secondo trasmettitore può essere regolato in modo da rendere sempre più bassa la frequenza di battimento. Ad un certo punto essa non è più udibile, se si continua a regolare il secondo generatore sempre nello stesso senso si nota che ad un certo punto (dall'altra parte) il battimento torna a farsi sentire. Poichè una frequenza di 30 Hz è ancora udibile si possono trovare due punti equidistanti dal « *punto di battimento nullo* », il punto intermedio fra questi è quello in cui le frequenze dei due trasmettitori coincidono. Con questo sistema si possono eseguire delle misure di frequenze molto più precise di quelle che si possono fare con l'ondametro ad assorbimento. Questi frequenzimetri si chiamano « *frequenzimetri ad eterodima*).

Le valvole elettroniche

Noi sappiamo molto bene che sulla nostra terra si muovono le cose più diverse alle velocità più diverse, per esempio una lumaca o un proiettile di un'arma da fuoco, ma sappiamo pure che nessuna finora è riuscita a staccarsi completamente dalla Terra. I fisici hanno però calcolato con esattezza quale dovrebbe essere la velocità di un corpo che volesse vincere la forza di attrazione della terra per lasciarla e librarsi nello spazio libero.

In un corpo metallico che è composto da un numero enorme di *molecole* si trovano sempre moltissimi *elettroni* liberi che rimbalzano da una molecola all'altra con le velocità più diverse, però nessuno di essi riesce normalmente a raggiungere una velocità così alta da superare la forza di attrazione molecolare alla superficie del metallo e quindi nessuno di essi può staccarsi dal corpo. Esiste però anche quì una velocità alla quale gli elettroni possono liberarsi dal metallo. Le velocità degli elettroni liberi di un metallo aumenta all'aumentare della temperatura e alle fine si arriva ad una temperatura alla quale una piccola percentuale di elettroni raggiunge una velocità così elevata da potersi staccare dal metallo.

Si sapeva già da parecchio tempo che nelle vicinanze di un corpo metallico incandescente l'aria diventa elettricamente conduttrice e nell'ultimo quarto del secolo scorso Elster e Geitel avevano osservato che un conduttore posto vicino ad un filo incandescente si carica negativamente. Poco dopo Edison, durante degli esperimenti che avevano tutt'altro scopo, fece una scoperta che doveva avere la massima importanza nel campo delle telecomunicazioni.

Egli chiuse in un bulbo di vetro G (fig. 9) oltre che il filamento incandescente F anche una piastrina metallica fredda P e osservò che collegando questa al morsetto + del filamento attraverso un galvanometro J si aveva una debole

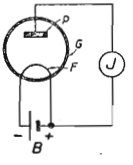

Fig. 9

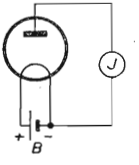

Fig. 10

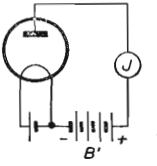

Fig.11

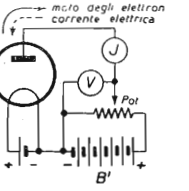

Fig.12

corrente che spariva invece se si collegava la piastrina (fig 10) al polo negativo (« *effetto di Edison* »). La spiegazione di questo straordinario fenomeno, nel quale a causa della temperatura elevata gli elettroni abbandonano il conduttore, vengono « emessi », e possono attraversare lo spazio che li separa dalla piastrina per dare origine ad una corrente elettrica, fu data da Thompson. Subito dopo Richardson stabilì esattamente le condizioni e le regole fondamentali della « *emissione elettronica* ».

Una carica elettrica negativa (ne abbiamo appena parlato) non è altro che una sovrabbondanza di elettroni. Quindi che un conduttore si carichi negativamente in vicinanza di un metallo incandescente significa che il metallo emette degli elettroni che attraverso lo spazio arrivano al conduttore. In questa esperienza sono di ostacolo le numerose ed enormi (rispetto agli elettroni) molecole di aria contro cui urtano gli elettroni che vengono quindi quasi completamente respinti. Appare perciò più conveniente il sistema usato da Edison, infatti all'interno del bulbo di una lampada ad incandescenza si fa un « *vuoto* » quasi assoluto in modo che la probabilità che un elettrone incontri

nel suo cammino una molecola di aria diventa molto piccola e quindi il fenomeno si può studiare molto più chiaramente. Tuttavia anche in queste condizioni non tutti gli elettroni che riescono a superare la forza di attrazione alla superficie del metallo riescono anche ad arrivare sulla piastrina, perchè essi hanno le velocità più diverse. Solo i più veloci riescono a raggiungere la piastrina, molti invece perdono tutte le loro energie ancora in vicinanza del filamento e si raccolgono attorno ad esso formando una specie di nube detta « *carica spaziale* » che respinge indietro gli elettroni che abbandonano il filo con una velocità troppo piccola. Poichè il filamento ha una determinata lunghezza e poichè in esso si ha una caduta di tensione corrispondente alla tensione della batteria B, chiudendo il circuito esterno con J, P (fig. 9) ed il polo + della batteria, si avrà una differenza di tensione positiva fra la piastrina e la parte di filo (con la carica speciale che lo avvolge) che è collegata al polo — della batteria. Perciò la piastrina attira verso sè stessa questi elettroni, naturalmente l'effetto sugli elettroni del filo vicino al polo + della batteria sarà minore. Invece collegando la piastrina al polo — della batteria essa diventa negativa rispetto a quasi tutto il filo, solo in corrispondenza del terminale — del filo la differenza di tensione è nulla. Perciò solo da questo punto qualche elettrone dei più veloci può arrivare fino alla piastrina.

Se si aumenta la tensione positiva della piastrina (placca), inserendo fra filamento e placca una batteria B' (fig. 11), si deve ammettere ora che tutti gli elettroni, che vengono emessi dal filamento, arrivano anche sulla placca, qualsiasi sia la sua tensione, perchè il numero di elettroni che può lasciare il filamento dipende solo dalla sua temperatura.

Facciamo ora un esperimento (fig. 12): applichiamo attraverso un potenziometro regolabile una tensione (misurata col voltmetro V) crescente alla placca e misuriamo la corrente I in mA che passa nell'amperometro. Con la valvola

RGN 354 (filamento 2 V) si ottiene per esempio la seguente tabella:

Tensione (V)	Corrente (mA)	Tensione (V)	Corrente(mA)
0	0,005	3,5	0,48
0,5	0,04	4	0,5
1	0,11	4,5	0,51
1,5	0,19	5	0,525
2	0,275	5,5	0,53
2,5	0,36	6	0,54
3	0,435		

L'andamento è ben diverso da quello che c'eravamo aspettato. La corrente aumenta dapprima lentamente, poi più rapidamente ed infine torna ad aumentare ancora lentamente (confronta anche il diagramma della fig. 13). Solo al di sopra di una determinata tensione (in questo caso circa 4 V) tutti gli elettroni emessi dal filamento vengono attirati sulla placca, cioè la corrente raggiunge la « *saturazione* » (« *corrente di saturazione* »).

La causa di questo comportamento è dovuta alla carica spaziale che per le basse tensioni positive frena l'aumento di corrente.

Nella fig. 13 è rappresentato anche il comportamento di questo dispositivo (filamento e placca in un bulbo a vuoto) nel caso che venga applicata ad esso anche una tensione alternata. La tensione continua sia di 2 V, inseriamo ora fra la placca e lo strumento J anche una tensione alternata di 0,5 V di ampiezza, si ha allora, a causa della pendenza della curva che nel campo da 1,5 a 2,5 V vale 0,17 mA per 1 V, una corrente alternata di 0,085 mA di ampiezza (curve

I e *I'*). Lo stesso risultato si otterrebbe se il tratto di circuito placca-filamento fosse stato sostituito da una resistenza di quasi $5900\,\Omega \left(\frac{0{,}5\ \text{V}}{0{,}085\ \text{mA}} \cong 5{,}9\ \text{k}\Omega\right)$.

Si può però vedere facilmente che la nostra valvola (a due elettrodi: filamento e placca, quindi detta « *diodo* ») si comporta in modo diverso da quello di una normale resistenza ohmica. Applicando una tensione alternata di 0,5 V ad una resistenza di $5900\,\Omega$ si avrebbe una corrente di

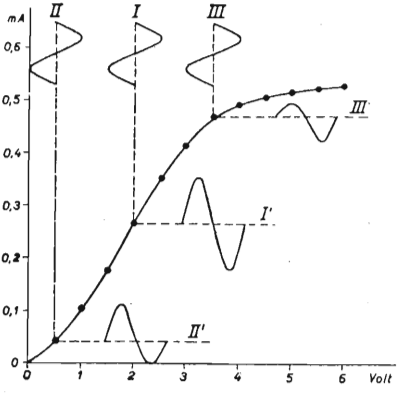

Fig. 13

0,085 mA senza che fosse necessaria la tensione continua di 2 V. Se ci spostiamo lungo la « *curva caratteristica* » della valvola della fig. 13 troviamo che il comportamento varia.

Proviamo infatti a ripetere l'esperimento precedente con una tensione continua di soli 0,5 V (II), si vede subito che la curva della corrente (II') risulta « *deformata* », « *di-*

storta », la parte positiva è più estesa della negativa. Un amperometro in corrente continua J (galvanometro a bobina mobile) misura con 2 V di tensione continua una corrente continua di 0,275 mA, indipendentemente dalla presenza o meno della tensione alternata di 0,5 V, perchè la corrente totale oscilla con uguale ampiezza dalle due parti e l'indice per la sua inerzia non può seguire queste variazioni ma resta fermo sul punto medio (solo con strumenti molto leggeri e con indici molto corti si può osservare una piccola vibrazione dell'indice). Nel caso della tensione continua di 0,5 V (II) lo strumento non misura più in presenza della tensione alternata 0,04 mA, perchè l'indice, se potesse seguire le oscillazioni, si sposterebbe di più dalla parte positiva e meno dalla negativa, quindi con la corrente alternata l'indice si stabilizza su un valore superiore. L'osservazione inversa si deve fare nel caso di una tensione continua di 3,5 V (III e III′): in questo caso lo strumento in corrente continua diminuisce la propria indicazione quando viene applicata la tensione alternata. Nel caso in cui una valvola venga utilizzata in un tratto curvo della sua caratteristica si ottiene una distorsione della corrente alternata che si manifesta con il fatto che alla corrente continua preesistente se ne associa una seconda che può essere positiva o negativa (II o III).

In una resistenza ohmica, quando si applica in un modo qualsiasi una tensione, si ottiene sempre una corrente, invece in un diodo se si inverte la polarita della batteria B' non si ha più passaggio di corrente, perchè se la placca ha una tensione leggermente negativa rispetto al filamento anche l'elettrone più veloce non può più giungere su di essa, perchè vi trova già un eccesso di elettroni, esso viene respinto e non attratto. Inoltre la corrente che passa in una resistenza è sempre determinata dalla tensione, cioè una resistenza di 1 Ω lascia passare con 1 V 1 A, con 2 V 2 A, con 3 V 3 A ecc. essa ha quindi una « caratteristica » ret-

tilinea. Nel caso della curva della valvola della fig. 13 occorre parlare, a causa del suo andamento non rettilineo, di *resistenza non lineare.*

La differenza fra una resistenza ohmica ed una valvola risulta più evidente ancora se si prova ad applicare direttamente ai capi della resistenza ohmica e della valvola una tensione alternata senza alcuna tensione continua. Una resistenza ohmica ha una caratteristica rettilinea (passante per lo zero) sia per tensioni positive che per tensioni negative. Quindi se ad una resistenza di 1 Ω si applica una tensione alternata di 5 V si ottiene una corrente alternata di 5 A.

Ripetiamo la stessa prova con un diodo che abbia la caratteristica della fig. 13 (fig. 14). Si ottiene un comportamento completamente diverso. La corrente può passare

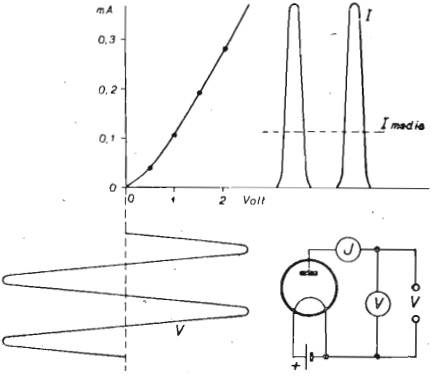

Fig. 14

attraverso le valvole solo se la placca ha una tensione positiva rispetto al filamento, cioè se essa è un « *anodo* » e il filamento è un « *catodo* ». Perciò le semionde positive della tensione *V* applicate provocano una « *corrente anodica* »

I, invece le semionde negative vengono tagliate. Contemporaneamente si ha anche una deformazione, distorsione della curva di corrente dovuta alla curvatura della caratteristica. Lo strumento in corrente continua J si stabilizza su un valore medio, perchè l'indice non può seguire le variazioni della corrente e precisamente la corrente indicata è un pò minore di 1/3 dell'ampiezza massima di I. Facciamo notare incidentalmente che nella fig. 14 abbiamo disegnato volutamente solo quella parte della caratteristica che non contiene ancora il « ginocchio superiore », la saturazione, perchè nella pratica le valvole dei ricevitori e molto spesso anche dei trasmettitori sono dimensionate in modo che nel campo delle ampiezze delle tensioni alternate applicate non si raggiunge mai la saturazione.

Se nei nostri esperimenti riscaldiamo il filamento de nostro diodo non con 2 V ma con 4 V, come è prescritto,

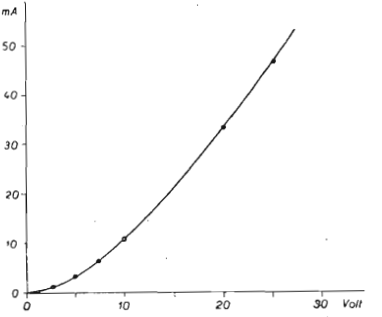

Fig. 15

esso raggiunge una temperatura molto più elevata, può emettere molti più elettroni e, come mostra la fig. 15, nel campo normale di funzionamento non si ha più alcuna saturazione.

Noi abbiamo parlato più indietro della velocità minima che devono avere gli elettroni per potere abbandonare il catodo. E' interessante notare che questa velocità minima è diversa per i vari metalli. Se il filamento è di *tungsteno* puro la minima velocità iniziale degli elettroni deve essere di 1.260 km al sec.

Se però si ricopre il filo con uno strato sottilissimo di *torio* la velocità minima scende a 1.060 km/sec.

Questa velocità può diventare al minimo 750 km/sec se si ricopre il filamento con uno strato di *essido di bario* sulla cui superficie, durante il processo di fabbricazione della valvola, si forma una sottile pellicola di *bario*.

Oggi si impiegano quasi esclusivamente valvole con questo tipo di catodo, solo nelle valvole trasmittenti si impiega qualche volta il tungsteno puro. Nei *catodi ad ossido* basta una temperatura molto più bassa che non con il tungsteno e quindi per ottenere una determinata corrente basta una potenza molto più piccola per il riscaldamento.

Nella fig. 14 noi abbiamo visto che una tensione alternata fa passare attraverso lo strumento J e la valvola una « *corrente continua pulsante* ». Ora se si vuole utilizzare in un modo qualsiasi questa *corrente raddrizzata*, facendola passare attraverso un apparecchio che deve essere percorso solo da corrente continua (per es. la resistenza ohmica R della fig. 16*a*), si ottiene ai capi di questa una tensione continua pulsante V che come forma è simile alla corrente pul-

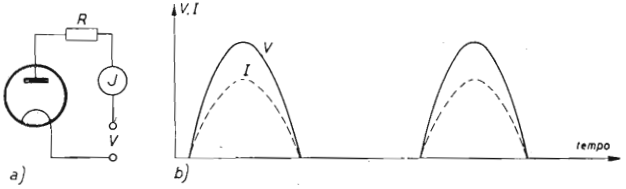

Fig. 16

sante I (fig. 16b), però evidentemente la corrente è in questo caso minore della corrente di corto circuito della fig. 13.

Le cose cambiano se si vuole utilizzare la corrente raddrizzata per caricare un accumulatore (fig. 17a). Questo, anche se è scarico, ha una propria tensione determinata V_B.

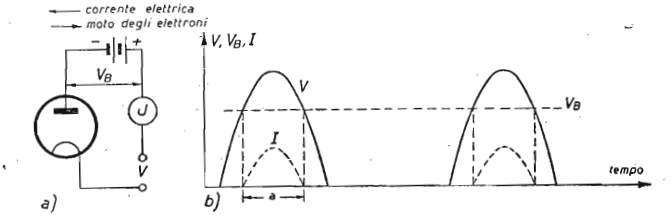

Fig. 17

Essa deve essere superata dalla tensione alternata prima che possa passare in esso una corrente, cioè la corrente non può passare durante tutta la semionda positiva ma solo nel tratto di tempo indicato con a, cioè solo quando la cupola della curva di V supera V_B.

Nel circuito della fig. 16a la resistenza R oppone la stessa resistenza sia alla corrente raddrizzata che alla corrente alternata. Si potrebbe anche pensare di procurare per la corrente alternata una scorciatoia di bassa impedenza, collegando in parallelo alla resistenza un grosso condensatore C (fig. 18a) che non lascia però passare la corrente continua. Il condensatore si carica naturalmente ad una tensione continua corrispondente alla sua capacità e alla resistenza R.

Durante le pause fra gli impulsi di tensione esso si scarica in parte sulla resistenza. Si ottiene così il comportamento schematizzato nella fig. 18b, cioè il condensatore si carica al primo impulso di corrente ad una tensione media V_m. In realtà la tensione istantanea del condensatore V_c, durante il tempo di carica a, sale oltre questo valore, perchè

c'è una corrente di carica. Qui si deve osservare che a causa della presenza di R passa una corrente minima (perchè sul terminale di R dalla parte dell'anodo si ha una caduta di tensione). All'atto dell'applicazione della tensione alter-

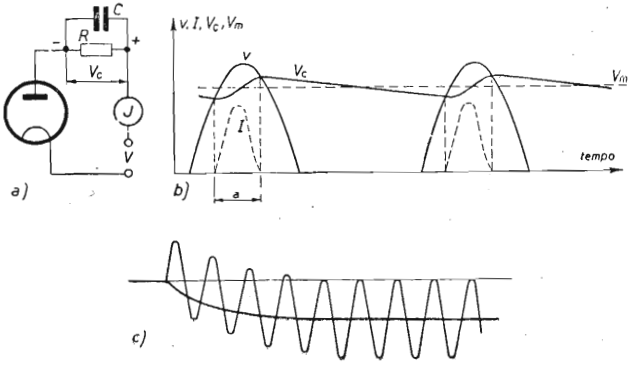

Fig. 18

nata V la corrente è forte e la tensione dell'anodo si abbassa (confronta fig. 18*c*) fino a che ad un certo punto la sua tensione diventa positiva solo per piccoli tratti corrispondenti alle punte della tensione alternata. Si parla quindi di *raddrizzamento delle punte*. Nella fig. 18*b* si vede come si scarica il condensatore durante la pausa e come diminuisce la sua tensione V_c. La tensione ai capi di C ha quindi la forma di un *dente di sega*.

E' chiaro che se si potessero utilizzare anche le semionde di tensione perse in questo «*raddrizzamento ad una sola semionda*» si avrebbero dei minori tempi di scarica per il condensatore e diminuirebbe anche la caduta di tensione del condensatore che si verifica fra due impulsi di corrente. Con ciò si diminuirebbe la cosiddetta «*ondulazione*» (dente

di sega) della tensione raddrizzata. Se si collegano due diodi in modo che durante la semionda positiva uno resti bloccato e l'altro lavori e carichi il condensatore C (fig. 19*a*) e che durante la semionda negativa il primo diodo sia bloccato e l'altro carichi il condensatore C, si ottiene il raddrizzamento di ambedue le semionde (fig. 19*b*). I due diodi possono essere alimentati o da due trasformatori singoli e contrapposti (fig. 19*c*) o da un unico avvolgimento con una

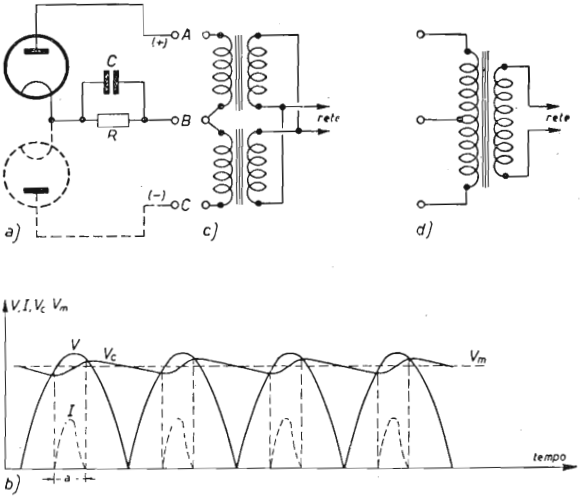

Fig. 19

presa intermedia. Per le basse tensioni che si hanno nel caso dei ricevitori, degli amplificatori e dei piccoli trasmettitori i due catodi e i due anodi possono essere contenuti nello stesso bulbo (raddrizzatore a due vie o *doppio diodo*).

Spianamento della corrente raddrizzata

Ci sono moltissimi casi in cui la tensione raddrizzata ai capi del condensatore C della fig. 18*a* e 18*b* non può essere utilizzata direttamente. Si devono trovare i mezzi ed il modo per spianare questa ondulazione. Osservando la fig. 18*b* e 19*b* si vede subito che queste due onde di tensione, che provocano nella resistenza delle corrispondenti onde di corrente, sono composte da una corrente continua media V_m alla quale è sovrapposta la tensione alternata ai capi del condensatore V_c, che però non ha una forma sinusoidale come quella di quasi tutte le tensioni alternate che abbiamo finora incontrato ma una forma a dente di sega. Si può dimostrare matematicamente e graficamente che una onda a dente di sega è composta da un grande numero di onde sinusoidali che hanno delle frequenze che stanno fra loro in rapporti determinati e precisamente da una onda di frequenza f e da altre con le frequenze $2f$, $3f$, $4f$, ecc. Nella fig. 20 si vede l'esempio di una tensione a dente di sega composta di nove onde di frequenza diversa (da f a $9f$). Queste varie onde si chiamano *armoniche*, nel caso della fig. 20 si hanno quindi 9 armoniche (l'armonica 1 si chiama *onda fondamentale*).

Se si collega ai capi del condensatore C delle fig. 18*a* o 19*a* un circuito come quello della fig. 21 costituito da una resistenza R in serie ad un condensatore C'. collegando la resistenza di carico R' ai morsetti disegnati nella figura, la corrente raddrizzata passerà attraverso R ed R' perchè non può passare per C'. Però attraverso C' può passare la corrente alternata. La tensione alternata ai capi di C è uguale a V_c, essa troverà in C' un passaggio tanto più facile quanto più alta è la capacità e quanto più alta e la sua frequenza, perchè la reattanza di un condensatore è uguale a $1/\omega C$.

Supponiamo di avere per esempio un condensatore C' di 10 μF ed una resistenza R di 32 kΩ, allora la reattanza del condensatore per 50 Hz è di circa 320 Ω. Per l'onda fondamentale della tensione a denti sega si ha ed allora un di-

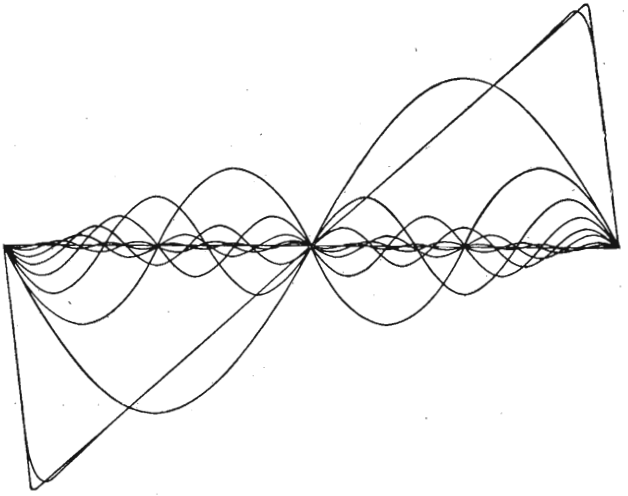

Fig. 20

visore di tensione (formato da R in serie a C') la cui tensione di uscita V_2 è 1/100 della tensione in entrata. La formula esatta per il calcolo della diminuzione è data da:

$$V_2 = V_1 \frac{1}{\sqrt{(R\omega C)^2 + 1}} .$$

Evidentemente le armoniche (2ω, 3ω ecc.) vengono diminuite molto di più. Poichè in un certo senso con questo sistema si filtra la tensione alternata dalla tensione continua

si parla di « *filtraggio* » della tensione, il circuito della fig. 21 si chiama « *filtro* », il condensatore C' « *condensatore di filtro* e la resistenza R « *resistenza di filtro* ».

La resistenza ohmica della fig. 21 ha lo svantaggio di presentare la stessa impedenza sia per la corrente alternata che per la corrente continua. Se si vuole diminuire la caduta di tensione per la corrente continua si può sostituire R con una resistenza per la corrente alternata, cioè con una « *bobina di filtro* » fig. 22.

Poichè la reattanza della bobina L cresce con la frequenza (ωL) e poiché quella di C' diminuisce, si ha una azione combinata doppia e se per esempio la frequenza fondamentale viene ridotta ad 1/100, la seconda armonica viene ridotta a 1/400 e così via. La bobina è quindi più vantaggiosa della resistenza anche per quanto riguarda l'eliminazione delle armoniche superiori. Si può qui notare anche il grande vantaggio del raddrizzamento a due vie rispetto a quello ad una via. Infatti confrontando le fig. 18*b*

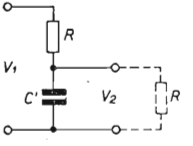

Fig. 21

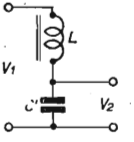

Fig. 22

e 19*b* si osserva che nella seconda non solo si ha una tensione media più alta e meno ondulata ma anche che la frequenza della sua tensione V_c è doppia di quella del caso del raddrizzamento ad una via. E' perciò più facile lo spianamento (filtraggio), ossia esso si può ottenere con dei condensatori e delle bobine più piccole, oppure, usando gli stessi elementi, si ottiene con il raddrizzamento a due vie un residuo di

armoniche molto più basso che nel caso del raddrizzamento ad una via. Scegliendo opportunamente i valori degli elementi del filtro o di una « *catena di filtri* » si ha sempre la possibilità di rendere l'ondulazione residua piccola a piacere.

Nella fig. 18 quanto più piccola è la resistenza R per una data capacità C, o quanto più piccola è C per una data resistenza R, tanto più rapidamente avviene la scarica del condensatore durante le pause di tensione e tanto più elevata è l'ondulazione V_c! Perciò lo spianamento può essere migliorato anche scegliendo opportunamente il valore di C. Per esempio con una capacità di 2 μF ed una corrente di 20 mA attraverso R si ha una componente alternata residua di 40 V_{eff}, invece con una capacità di 16 μF si ha una tensione residua di soli 4 V_{eff}. Poichè questa ondulazione provoca in una cuffia un « *rumore di fondo* » il filtraggio si chiama anche « *eliminazione del rumore di fondo* ».

Raddrizzatori della tecnica radio

Poichè l'ondulazione della tensione applicata ad una valvola provoca una ondulazione corrispondente della corrente (vedi fig. 13), le valvole vengono alimentate o con delle batterie, che hanno una tensione perfettamente costante, o con un raddrizzatore, che sia però ben filtrato. Consideriamo due esempi di « *alimentatori* » di due apparecchi radio. Nel primo caso (fig. 23) si trovano dei condensatori di carica C_1 e di filtro C_s relativamente piccoli, il filtraggio è fatto con una resistenza. Con « *fus.* » si è indicato un fusibile e con « *int.* » un interruttore (in questo caso unipolare). Sono riportate nel disegno le varie tensioni o cadute di tensione ed è stato indicata anche la resistenza equivalente al carico che in questo caso è di due valvole.

Il trasformatore T (ved. parte II) viene alimentato dalla rete attraverso l'avvolgimento I° che ha più prese adatte alle varie tensioni di rete. L'avvolgimento II fornisce 4 V per il riscaldamento del filamento del diodo G, noi vediamo quindi che il filamento di una valvola può essere alimen-

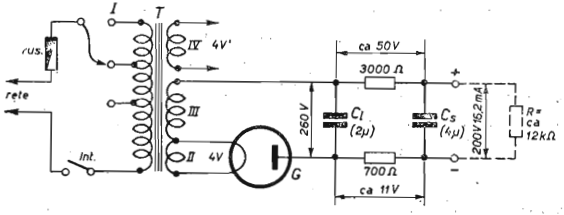

Fig. 23

tato anche con corrente alternata. Infatti il riscaldamento del catodo non dipende dal tipo di corrente ma dall'energia elettrica trasformata in calore nella sua resistenza.

L'avvolgimento III fornisce la tensione anodica che deve essere raddrizzata. Essa deve essere sufficientemente alta per potere compensare le cadute di tensione nel filtro.

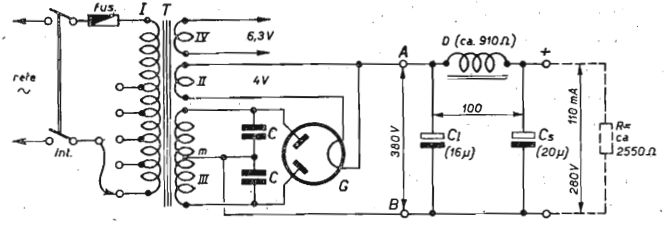

Fig. 24

Un ultimo avvolgimento IV del trasformatore fornisce 4 V per il filamento delle altre valvole del ricevitore.

Negli apparecchi radio più grossi si usano più spesso i raddrizzatori ad onda piena, vedi fig. 24. Le indicazioni

corrispondono a quelle della fig. 23. L'avvolgimento per la tensione anodica deve fornire due volte la tensione necessaria, ai due lati della presa intermedia *m*. I due condensatori indi ati con C_1 e C_s sono elettrolitici.

Si usa una bobina di filtro invece che una resistenza. Nei ricevitori con altoparlante elettrodinamico si può risparmiare la resistenza di filtro, usando al suo posto le *bobine di campo* dell'altoparlante. I due condensatori *C* collegati fra gli estremi dell'avvolgimento ad alta tensione e il polo meno (di solito messo a massa) hanno il compito di eliminare i disturbi nel campo delle onde corte ed anche medie che si avrebbero a causa delle punte di tensione che arrivano a C_1.

I radioricevitori che devono essere alimentati da una rete luce in corrente continua non possono utilizzare il trasformatore (a meno che non si impieghi un vibratore) e d'altra parte la corrente continua non ha alcun bisogno di essere raddrizzata, basta solo spianare un pò di più la corrente continua pulsante fornita dalle macchine. Ciò si può fare in modo molto facile, perchè la componente alternata è molto bassa come ampiezza ed ha una frequenza più elevata. Nella fig. 24 si potrebbe eliminare tutta la parte a sinistra dei punti *A* e *B* e utilizzare solo il filtro per lo spianamento. Inoltre qui non occorre usare una bobina con una resistenza così elevata ma ne basta una con una resistenza in corrente continua più bassa in modo che la tensione continua in uscita dal filtro non sia troppo bassa. Infatti la rete a corrente continua fornisce di solito 220-240 V. In tali ricevitori non si può quindi utilizzare come filtro la bobina dell'altoparlante ma se ne costruisce una apposta o si usa un altoparlante a magnete permanente. Se non ci fosse il problema dell'alimentazione del filamento delle valvole sarebbe facile ideare un commutatore che permetta la scelta fra l'alimentazione in corrente continua o in corrente alternata. I filamenti vengono di solito alimentati

in parallelo con uno (o due) avvolgimenti del trasformatore; nel passare alla corrente continua si dovrebbe inserire una resistenza per ridurre la tensione. Poichè però con una tensione dei filamenti di 4 o 6,3 V tutto il resto della tensione dovrebbe essere dissipato in calore con la resistenza di preinserzione, si preferisce collegare tutti i filamenti in serie (essi devono quindi essere previsti per la stessa

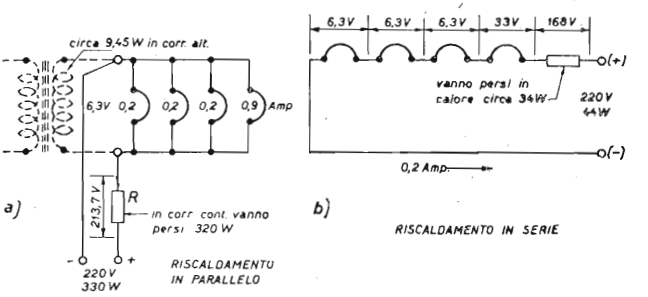

Fig. 25

corrente); si utilizzano cioè le valvole con filamenti per alimentazione in serie e con ciò si deve dissipare una potenza molto minore. Per una rete con una tensione continua di 220 V (che se fosse alternata si potrebbe ridurre facilmente a 6,3 C con un trasformatore) si ottiene con il riscaldamento in serie (fig. 25) una perdita nella resistenza di preinserzione che è solo il 13 % di quella che si avrebbe con il riscaldamento in parallelo dei filamenti (fig. 25*a*). Il collegamento in serie dei filamenti può essere usato anche con la corrente alternata. Dove c'è una valvola raddrizzatrice anche il suo filamento va alimentato in serie agli altri. Senza trasformatore (a meno di non impiegare quattro diodi) non è possibile il raddrizzamento ad onda piena, perciò i ricevitori universali per corrente continua e alternata impiegano sem-

pre un raddrizzatore ad una sola via. Nella fig. 26 è indicato un alimentatore per c.a. e c.c. Poichè la tensione del catodo deve essere indipendente dalla tensione applicata ai terminali del filamento, si deve impiegare al posto del

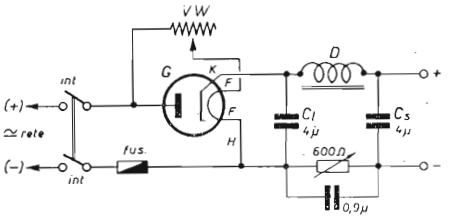

Fig. 26

catodo a riscaldamento diretto il *catodo a riscaldamento indiretto*. Nella fig. 27 è rappresentato schematicamente questo secondo tipo di catodo. Il filamento *H* con i terminali *FF* fornisce il calore ma non emette elettroni, questi vengono invece emessi dal catodo a tubicino *R* che ha il terminale *K* e che è ricoperto da uno strato di ossidi *O*. Nella fig. 26 in serie al filamento del diodo sono collegati anche quelli delle altre valvole (*H*). I condensatori di carica e di filtro e la bobina hanno i valori normali. Spiegheremo più avanti il significato della resistenza da 600 Ω con in parallelo il condensatore. Si deve notare ancora che all'emissione degli elettroni concorrono tutte le parti dei catodi a riscaldamento indiretto, all'opposto di quelli a riscaldamento diretto.

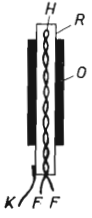

Fig. 27

Si deve ora osservare che nell'alimentazione in serie delle valvole quelle che hanno bisogno di una potenza maggiore hanno un maggiore assorbimento di tensione (anche fino a 110 V), poichè la

corrente deve essere uguale a quella delle valvole più piccole.

Per finire questo paragrafo ricordiamo brevemente che si conoscono anche altri tipi di raddrizzatori. Nella radiotecnica si trovano nelle forme più svariate i due tipi fondamentali i cosiddetti « *raddrizzatori a secco* » e i « *rivelatori a cristallo* ». Se si deposita su una piastra metallica del selenio e se su questo si spruzza un secondo strato metallico, il sistema si comporta come una resistenza ohmica molto bassa nella direzione ferro-selenio e come una resistenza elevatissima nella direzione opposta. Con questi « elementi raddrizzatori al selenio » si possono costruire dei « *raddrizzatori al selenio* » che raddrizzano la corrente alternata in modo analogo ai diodi, anche se nelle valvole la corrente può passare solo nella « *direzione di passaggio* » e quì si ha invece una — sia pur piccola — « *corrente inversa* ». Si può costruire un raddrizzatore anche depositando un leggero strato di ossidulo di rame su una piastra di rame con una piastra di piombo pressata contro. Questi sono i cosiddetti « *raddrizzatori ad ossido di rame* ». Il rivelatore a cristallo ha come parte fondamentale un cristallo (di solito galena) contro cui tocca un contatto a punta (spirale di argento). Si impiegano anche altri materiali, per esempio silicio contro bronzo, carborundum contro acciaio, ecc. Il rivelatore a cristallo è impiegato di solito solo per le correnti di ricezione (vedi paragrafo seguente).

In questi ultimi anni si impiegano sempre più per il raddrizzamento dei segnali ricevuti i raddrizzatori a cristallo costituiti da cristalli di germanio. Questi diodi al germanio sono molto economici per le loro minime dimensioni e perchè non hanno bisogno del riscaldamento del filamento.

La demodulazione

Nei paragrafi precedenti noi abbiamo visto tutte le premesse per la trasmissione senza fili: le antenne con la loro possibilità di irradiare e di captare le onde elettromagnetiche, la possibilità di affidare a queste onde le oscillazioni musicali ed infine le proprietà raddrizzatrici di una valvola con catodo e anodo. Se una tensione ad alta frequenza modulata (come quella della fig. 8*c*) arriva ad una valvola (fig. 28) essa viene raddrizzata, si ottiene cioè la curva della fig. 8*d* che si era detta necessaria per riottenere la tensione modulante, e la valvola fornisce una corrente con un'ampiezza corrispondente a quella dell'onda fonica, l'alta frequenza viene così « demodulata » o « rive-

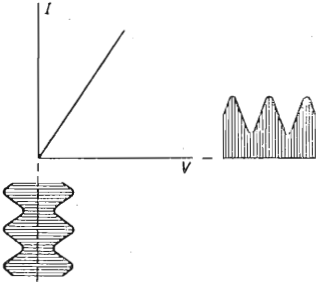

Fig. 28

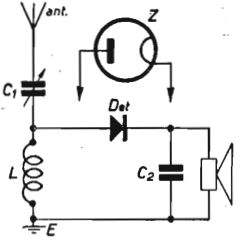

Fig. 29

lata ». Se si inserisce nel circuito una cuffia la sua membrana vibra nel ritmo della modulazione fonica (essa non può infatti seguire le rapidissime variazioni dell'alta frequenza) e si sente la frequenza fonica con la quale nel trasmettitore s'era modulata la frequenza portante. Il più semplice radioricevitore è perciò composto da un'antenna (ant. nella fig. 29), un condensatore variabile C_1 ed una bobina L per la sintonizzazione sulla frequenza (portante) desiderata,

un raddrizzatore e una cuffia. Per la demodulazione si può usare sia un rivelatore a cristallo (« *radio a galena* ») che un diodo. Le valvole impiegate come raddrizzatori negli alimentatori si chiamano raddrizzatrici di alimentazione, quelle impiegate per la ricezione raddrizzatrici di ricezione. Il condensatore C_2 della fig. 29 ha lo scopo di deviare l'alta frequenza affinchè possa ritornare direttamente al raddrizzatore senza passare per la cuffia, esso ha un effetto diverso da quello del condensatore di carico della fig. 18. Con E è indicata la terra. In un circuito come quello della fig. 18*a* una tensione alternata di ampiezza costante dà origine ad una tensione continua di media costante, come è mostrato nella fig. 18*c*. Se invece a causa della modulazione (fig. 30*a*) varia l'ampiezza varierà anche la tensione media raddrizzata, ai capi del condensatore di carica troveremo quindi una tensione fonica. Ed è proprio qui che esiste una grande differenza fra un alimentatore e un demodulatore.

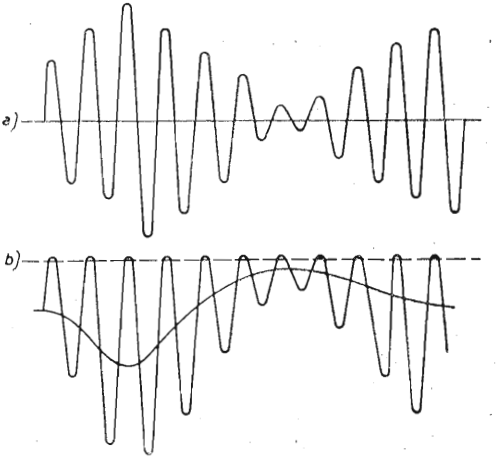

Fig. 30

Nel primo si deve ottenere una tensione o corrente continua il più possibile esente da onde e perciò si sceglie un condensatore di carica grosso. Nella demodulazione interessa invece proprio l'« ondulazione » perchè è proprio essa che poi alla fine vogliamo sentire nell'altoparlante. L'alta frequenza in questo caso interessa poco e noi non utilizziamo (almeno per ora) la tensione continua media dovuta ad essa. Perciò il condensatore di carica non deve essere tanto grande da permettere che la sua reattanza per la massima frequenza fonica diventi troppo piccola rispetto alla resistenza *R*. Nella pratica si usano di solito dei valori di capacità compresi fra 50 e 200 pF. Poichè in alcuni casi contemporaneamente alla utilizzazione della modulazione fonica per la riproduzione interessa anche una tensione per fettamente spianata, si impiegano oggi per questo scopo delle valvole che hanno i due diodi chiusi nello stesso bulbo (*doppi diodi*).

Il triodo

Se in una delle valvole che conosciamo (diodo) inseriamo fra catodo e anodo un terzo elettrodo a forma di griglia e lo colleghiamo al catodo non cambia praticamente niente del funzionamento della valvola; la curva caratteristica che dà la corrente anodica in funzione della tensione anodica non mostra alcuna differenza. Se la « *griglia* » viene collegata all'anodo invece che al catodo si ottiene una caratteristica simile ma per una determinata tensione la corrente è molto maggiore, perchè la griglia è più vicina al catodo dell'anodo e quindi è maggiore la forza di attrazione sugli elettroni. Se si rende negativa la tensione della griglia la corrente diminuisce di molto perchè molti elettroni vengono respinti sul catodo dall'eccesso di elettroni che si trova sulla griglia. L'effetto della griglia è quindi

diverso da quello dell'anodo. Gli elettroni che non sono diretti contro i fili della griglia possono passare oltre essa. quindi quando la griglia è positiva e l'anodo non è sotto tensione parte degli elettroni continuano la loro corsa oltre la griglia. Poichè però essi sono attirati dalla sua tensione positiva perdono presto la loro velocità e finiscono con il tornare sulla griglia

Il comportamento è completamente diverso se colleghiamo fra catodo e griglia una *batteria di polarizzazione*

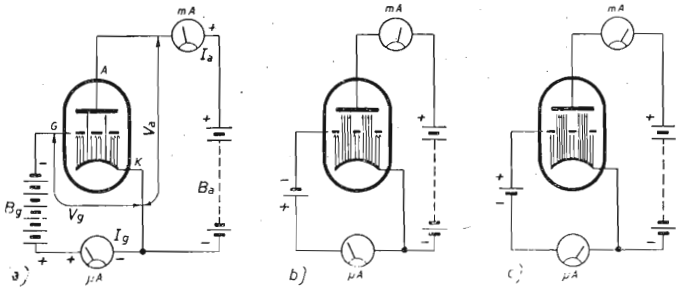

Fig. 31

(B_g della fig. 31*a*) con il polo negativo collegato alla griglia (tensione di griglia V_g) e se applichiamo all'anodo una tensione positiva (tensione anodica V_a della batteria B_a). La tensione anodica, nonostante la tensione negativa della griglia, riesce, attraverso le maglie della griglia, ad esercitare una azione sugli elettroni e ad attirarli su di se. A tensioni costanti il numero di elettroni che riesce ad arrivare all'anodo è tanto maggiore quanto sono più larghe le maglie della griglia e quanto più vicino è l'anodo al catodo, invece con una grande distanza fra anodo e catodo e con delle maglie strette della griglia l'effetto della tensione anodica al di là della griglia è molto piccolo. Sulla griglia non arriva alcun elettrone, perchè è negativa, quindi la *corrente di*

griglia I_g è nulla, degli elettroni arrivano invece sull'anodo, c'è perciò una *corrente anodica* o *di placca* I_a. Quanto più la tensione di griglia è negativa con tanta maggior forza vengono da essa respinti gli elettroni sul catodo ed infine

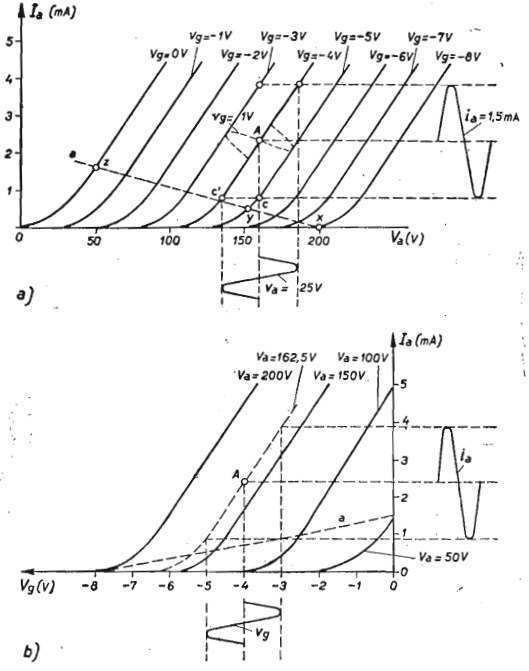

Fig. 32

anche l'azione della tensione anodica che può filtrare attraverso i fori della griglia si annulla e cessa quindi la corrente anodica ($I_a = 0$). Se si diminuisce la tensione negativa della griglia la corrente anodica aumenta (fig. 31*b*), con tensione

di griglia nulla la corrente aumenta ancora un pò e inizia già a passare una piccola corrente di griglia, infine con la griglia positiva si ha una maggiore corrente di griglia (fig. 31*c*), però gli elettroni che passano attraverso le maglie non tornano più indietro ma arrivano fino all'anodo, almeno fino a che la sua tensione è superiore a quella della griglia. Solo se la tensione di griglia diventa uguale o superiore a quella dell'anodo una parte degli elettroni invertono il moto prima di arrivare all'anodo e tornano sulla griglia.

Se si mantiene costante la tensione negativa della griglia e si varia la tensione anodica, si ottiene una caratteristica simile a quella che si ha con la griglia collegata al catodo però la curva inizia ad una tensione anodica più alta. Aumentando la tensione negativa della griglia, la curva inizia più avanti ancora e così via. Si può quindi disegnare tutta una serie di curve, una per ogni tensione di polarizzazione di griglia, curve che danno la corrente anodica in funzione della tensione anodica (*caratteristiche*: *corrente anodica, tensione anodica* fig. 32*a*). Poichè in questo caso fra il catodo e l'anodo è inserito solo la batteria B_a con una piccola resistenza interna e il milliamperometro mA pure con una resistenza trascurabile, l'anodo e il catodo sono praticamente in corto circuito e le caratteristiche della fig. 32 si chiamano « *caratteristiche di cortocircuito* » o anche « *caratteristiche statiche*)

Consideriamo ora il punto (A) di una curva della fig. 32*a*. In esso la tensione anodica vale $V_a = 162{,}5$ V e la tensione negativa di griglia $V_g = -4$ V, con ciò passa una corrente anodica (continua) di 2,4 mA. Se si aggiunge alla tensione anodica continua una *tensione anodica alternata* V_a di ampiezza 25 V con un trasformatore U (fig. 33*a*) con una resistenza ohmica trascurabile inserita nel circuito anodico (confronta anche la fig. 13) si ha il passaggio di una corrente alternata i_a di 1,5 mA di ampiezza (corrispondente ai punti B' e C' della curva per $V_g = -4$ V). Quindi

nell'intorno del punto A il tratto di valvola fra l'anodo e il catodo (che comprende anche la griglia) si comporta come una resistenza ohmica di $25/1{,}5 = 16{,}66\ k\Omega$. Questa si chiama « *resistenza interna della valvola* ». Se si variano le condizioni della prova come è indicato nella fig. 33*b*, cioè se si applica fra catodo e griglia oltre che la tensione negativa continua di — 4 V anche una *tensione alternata di griglia* v_g di 1 V di ampiezza si ottiene una tensione totale di griglia oscillante fra — 3 e — 5 V (punti B e C della fig. 33*a*) e la corrente anodica alternata è ancora di 1,5 mA di ampiezza. Ciò significa che con 1 V sulla griglia si ottiene lo stesso effetto (una corrente anodica alternata di 1,5 mA) che con una tensione di 25 V sull'anodo. Questa è la cosiddetta « *amplificazione* » della valvola e il rapporto fra la tensione anodica che è necessaria per avere una determinata corrente anodica e la tensione di griglia che provoca la stessa corrente anodica si chiama « *fattore*

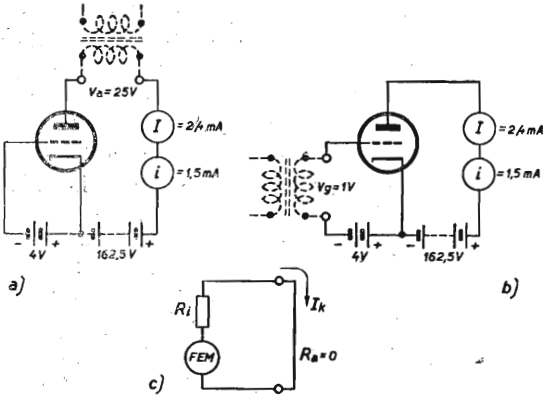

Fig. 33

di amplificazione: μ » della valvola. Secondo la costruzione μ può essere più o meno elevato. L'inverso del fattore di amplificazione si indica con $P = 1/\mu$, ma attualmente si usa poco. Poichè il circuito anodico della valvola è praticamente cortocircuitato, la corrente $i_a = 1{,}5$ mA deve considerarsi come « *corrente di cortocircuito* » della valvola. Si potrebbe pensare di sostituire al posto della valvola un generatore di corrente alternata con una resistenza interna di 16,66 kΩ e che fornisce una tensione alternata di 25 V, infatti esso, quando i morsetti sono cortocircuitati, fornisce proprio una corrente di cortocircuito di 1,5 mA (fig. 33*c*). La valvola si può quindi sostituire con una sorgente di corrente alternata, con una resistenza interna R_i e con una certa f.e.m.

Se si lasciano aperti i morsetti, cioè se si fa la « *resistenza esterna* » R_a non nulla come in fig. 33*c* ma infinitamente elevata si ha che la tensione ai mosertti è uguale alla f.e.m. cioè alla « *tensione a vuoto* » del generatore, nel nostro caso è uguale a 25 V (Ma non è possibile ottenere ciò con una valvola, perchè, non arriverebbe più nessuna tensione all'anodo, però non occorre che ci rompiamo la testa con questo caso, perchè in pratica non si avrà mai una resistenza infinita)

Il fattore di amplificazione per la valvola che ha le curve caratteristiche della fig. 32 è $\mu = 25$, cioè nella fig. 33*c* si può sostituire alla f.e.m. di 25 V il fattore di amplificazione moltiplicato per la tensione di griglia, con ciò non cambia niente (f.e.m. $= \mu v_g$). In modo analogo a quello che capita in una batteria o in un'altro generatore si può avere anche qui il cortocircuito, o il funzionamento a vuoto. Applichiamo ora ai morsetti del generatore (fig. 34) una resistenza R_a (fra il polo + della batteria e l'anodo, oppure tra l'anodo e il catodo visto che la resistenza interna della batteria è molto piccola).

La tensione alternata V_a ai capi di questa resistenza è ovviamente più piccola della f.e.m. ($\mu \cdot V_g$) e la corrente

anodica è minore della corrente di cortocircuito. Si osserva però anche qualcosaltro. Se si applica ad una valvola corrispondente alla fig. 32 una tensione anodica continua di 200 V ed una tensione di griglia di — 8 V, non si ha il passaggio di alcuna corrente anodica (punto x) è quindi indiffe-

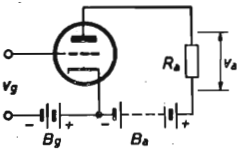

Fig. 34

rente mettere o no una resistenza di 100 kΩ fra batteria anodica e placca (anodo). Se però si diminuisce la tensione di griglia a — 5 V si ha un passaggio di corrente anodica che provoca una caduta di tensione in R_a. Questa nel punto *y* vale per esempio (0,45 mA su 100 kΩ) circa 45 V in modo che la tensione dell'anodo resta di soli 200 — 45 = 155 V. Con una tensione di griglia di 0 V (punto *Z*) passerebbe una corrente di 1,5 mA perciò la caduta di tensione sarebbe di 150 V. Perciò il punto *Z* si trova proprio sulla caratteristica $V_g = 0$ per una tensione anodica di 50 V. La linea *a* rappresenta quindi la « *caratteristica di lavoro* » della valvola quando lavora con una resistenza anodica di 100 kΩ (vedi anche la fig. 32*b*). Se si applica ancora sulla griglia una tensione alternata di 1 V, si ha che la f.e.m. vale 1 . 25 = 25 V, perciò la corrente alternata che passa per la resistenza anodica si può calcolare dividendo la f.e.m. per $R_a + R_i$, cioè $\frac{25}{116{,}66} = 0{,}214$ mA. La tensione anodica alternata diventa quindi:

$$V_a = \frac{\mu \cdot V_g}{R_a + R_i} \cdot R_a = 21{,}4\ V$$

Si vede che l'effettiva « *amplificazione di tensione* » cioè il rapporto fra la tensione anodica e la tensione di griglia è minore del fattore di amplificazione (21,4 al posto di $\mu = 25$). Se si ripete l'esperimento con una resistenza $R_a = 10\ k\Omega$ si ottiene una tensione anodica di circa 9,4 V, l'amplificazione di tensione è quindi minore ancora. Quindi se è possibile si fa sempre R_a per lo meno quattro volte maggiore di R_i se si vuole ottenere con questo « *amplificatore a resistenza* » una sufficiente amplificazione. Per ottenere delle amplificazioni maggiori di quelle date da una sola valvola si possono collegare in serie più circuiti come quello della fig. 34. Però per risparmiare sul numero di batterie si costruisce il circuito come in fig. 35 (a parte dei casi speciali

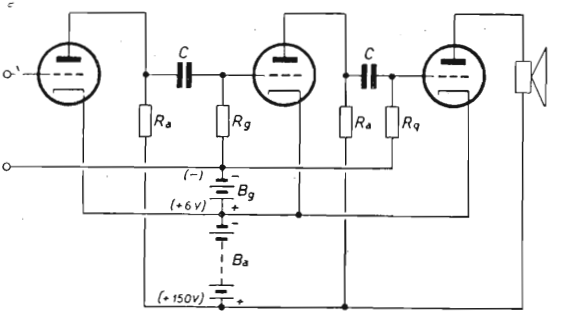

Fig. 35

dei quali non occorre ci interessiamo); cioè si blocca la tensione continua con i « *condensatori di accoppiamento* » C che permettono tuttavia il passaggio della corrente alternata e si porta la tensione alle griglia con delle resistenze di valore elevato R_g « *resistenze di fuga delle griglie* ». Questo è il cosiddetto « *accoppiamento a resistenza e capacità* » o semplicemente *accoppiamente RC*. Nelle fig. 35 è indicata fra parentesi la possibilità di ottenere la tensione di griglia e la tensione anodica dalla stessa batteria.

Osservando la fig. 32*b* si vede chiaramente che la corrente anodica alternata che si ottiene con un volt di tensione di griglia è tanto più alta quanto più è ripida la caratteristica nel punto di lavoro. La variazione di corrente anodica che si ottiene con la variazione di 1 V della tensione di griglia si chiama « *pendenza* » S della valvola, e quando si dice che una valvola ha la pendenza di 1,5 mA/V ciò vale solo per la parte rettilinea della caratteristica I_a, V_a (la cosiddetta pendenza statica) e significa che 1 V di tensione alternata di griglia provoca in condizioni di cortocircuito una corrente anodica alternata di 1,5 mA. La « *pendenza dinamica* » (o di lavoro) per $R_a = 100$ kΩ è molto minore, come si vede dalla curva *a*, ed infatti vale 0,214 mA/V. La pendenza di lavoro (S_a) moltiplicata per R_a dà la tensione anodica che si ottiene con 1 V di tensione di griglia, perciò dà l'amplificazione di tensione. Facciamo notare che in una valvola come la nostra con una sola griglia (« triodo »), moltiplicando la pendenza statica per la resistenza interna e per l'inverso del fattore di amplificazione (D), si ottiene sempre 1. Nel nostro caso si ha per esempio: $16{,}66 \times 1{,}5 \times 1/25 = 1$.

Nelle fig. 34 e 35 si può usare al posto della resistenza ohmica una bobina con una reattanza $X_L = \omega L$. Si ottiene in ogni caso una tensione anodica e per il calcolo della caratteristiche occorre conoscere la frequenza. Se si deve trasmettere una larga banda di frequenze la reattanza della bobina alle frequenze più basse deve essere abbastanza elevata per garantire una sufficiente amplificazione che non deve differire molto da quella delle frequenze più elevate. La maggiore amplificazione che si può ottenere con una valvola che ha $\mu = 25$ è teoricamente 25 volte e con un accopiamento a bobina e capacità (LC) si arriva alle alte frequenze molto vicino a questo valore. L'orecchio umano di solito non percepicse una differenza dell'intensità di un suono finchè non supera il 30%. ciò significa che se per le alte frequenze l'amplificazione è uguale a 25, per le

basse frequenze ($f = 50$ Hz, $\omega =$ circa 300) deve essere almeno 17,5. Ciò significa che se $R_i = 16{,}66$ kΩ la reattanza della bobina deve essere almeno di 39 kΩ cioè la sua induttanza deve essere di 130 henry ($X_L = \omega L = 300 \cdot 130 = 39\,000\ \Omega$). Si può verificare poi che per una frequenza di 5000 Hz, $\omega =$ circa 30.000 l'amplificazione per $R_i = 16{,}66$ kΩ e per $\mu = 25$ è poco minore di 25. Si può però pensare anche un'altra possibilità.

Si può adottare come resistenza di carico anodico un condensatore, la sua impedenza diminuirà allora all'aumentare della frequenza. Poichè però all'anodo deve arrivare una corrente continua si deve mettere una resistenza in parallelo al condensatore, si ottiene cioè un circuto simile a quello della fig. 34 con in più un condensatore in parallelo a R_a. Supponiamo di collegare in parallelo alla resistenza di 100 kΩ un condensatore di 1000 pF. A 50 Hz il condensatore ha una reattanza di circa 3180 kΩ, perciò l'amplificazione resta stabilita solo dai 100 kΩ di R_a. A 5 kHz la reattanza del condensatore scende a soli 31,8 kΩ, perciò diminuisce di molto l'amplificazione. Alle frequenze molto più alte la valvola (e rispettivamente R_a) sono praticamente cortocircuitate, infatti a 1,5 MHz (lunghezza d'onda di 200 m) la reattanza del condensatore è di 106 Ω.

Da ciò si possono trarre le seguenti conclusioni. Se si vogliono ottenere delle alte amplificazioni con un accoppiamento *RC* (o *LC*) si devono ridurre al minimo le capacità in parallelo con R_a. Nella fig. 36*a* sono rappresentate le capacità di un circuito con accoppiamento a *RC*. Si deve ricordare che le batterie non offrono praticamente alcuna impedenza alla corrente alternata (per tranquillità si collegano alcuni condensatori di capacità elevata in parallelo ad esse). La capacità fra anodo e catodo della prima valvola (C_{ak}), l'inevitabile capacità dei collegamenti ecc., e la capacità fra la griglia e il catodo della seconda valvola (C_{gk}) sono in parallelo ad R_a e limitano l'amplificazione alle alte

frequenze. Sembrerebbe invece che la capacità fra anodo e griglia della seconda valvola (C_{ga}) non avesse alcuna influenza. Ciò però è vero solo fino a che non si collega una resistenza nel circuito anodico della seconda valvola. Poichè però questo è il caso che si presenta sempre in pratica,

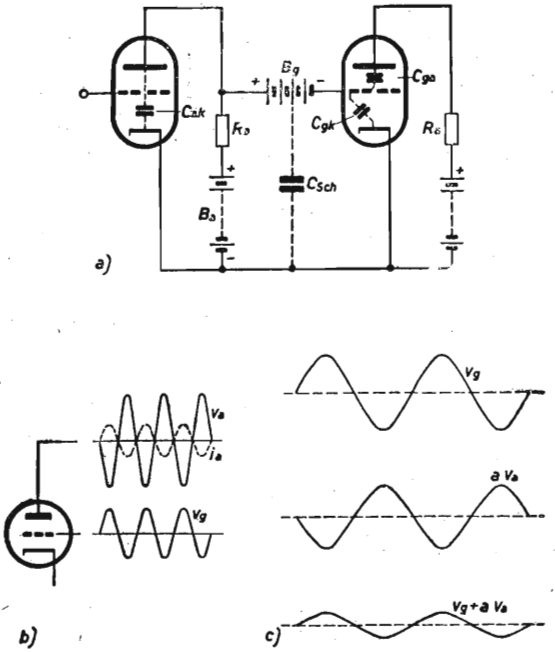

Fig. 36

le cose assumono un aspetto diverso. La tensione alternata V_g fornita da R_a alla griglia della seconda valvola provoca nel suo circuito anodico una corrente alternata i_a (fig. 36*b*). Quando questa ha il suo valore massimo positivo (ciò suc-

cede quando anche V_g ha il massimo valore positivo) la tensione alternata che si origina in R_a (V_a) ha il suo valore massimo negativo (vedi anche più avanti), essa è di fase opposta a quello di V_g e i_e. Se non ci fosse la capacità C_{ga} questo fatto non avrebbe alcuna influenza. Invece attraverso C_{ga} una parte *a* della tensione alternata anodica viene trasmessa alle griglie (fig. 36*c*) ed essa si combina con la tensione della griglia, e precisamente essa diminuisce la tensione della griglia perchè è di fase opposta. Quanto più alta è la frequenza tanto più alta è la parte *a* di tensione anodica che viene trasmessa da C_{ga} alla griglia, perchè la reattanza di C_{ga} diminuisce, quindi la tensione di comando della seconda griglia diminuisce di più. Lo stesso effetto si potrebbe ottenere eliminando C_{ga} e applicando una capacità equivalente ai capi di R_a. La sua grandezza dipende dal valore della tensione su R_a, quindi dall'amplificazione della II valvola e da C_{ga}. L'effetto di questa capacità parassita che per gli elevati fattori di amplificazione può arrivare anche a 50-100 pF è quello di diminuire ulteriormente l'amplificazione alle alte frequenze. Vedremo più avanti come si può realizzare una « *amplificazione in alta frequenza* ».

Il tetrodo

Un fenomeno indesiderato che si presenta in tutti i triodi è l'alta tensione anodica necessaria per avere una sufficiente corrente di placca. Questo fatto dovuto alla carica spaziale si può eliminare entro certi limiti, frapponendo fra la griglia di controllo e il catodo di un triodo una seconda griglia che sia alimentata da una tensione positiva. Allora gli elettroni vengono attirati da una tensione positiva anche quando si trovano ancora vicino al catodo e ricevono un aumento della loro velocità; parte finisce sui fili di questa « griglia a carica spaziale » altri passano invece fra le maglie, attraver-

sano la griglia di controllo e arrivano sino all'anodo. In questo modo si possono ottenere delle alte correnti anche con basse tensioni. Queste valvole (« *a doppia griglia* » o con « *griglia a carica spaziale* ») vengono impiegate in quei casi in cui ha la massima importanza la riduzione del peso (le batterie sono abbastanza pesanti!). Facciamo quì notare che le griglie di una valvola si numerano sempre a partire dal catodo, perciò la griglia a carica spaziale è la griglia 1 e la griglia di controllo è la griglia 2.

Un'altro svantaggio dei triodi è la reazione della tensione anodica alternata sulla griglia attraverso la capacità anodo griglia, la cosidetta « *controreazione anodica* ». Poichè essa è sempre presente, per ottenere una determinata tensione anodica alternata occorre una maggiore tensione della griglia di controllo, cioè in pratica l'amplificazione è minore. L'eliminazione di questo inconveniente si ottiene inserendo una griglia 2 fra la griglia di controllo (griglia 1) e l'anodo. Alla griglia 2 viene applicata una tensione positiva. Con ciò gli elettroni vengono attirati attraverso le maglie della griglia di controllo e accelerati in direzione dell'anodo. In realtà una parte di essi si ferma su questa seconda griglia (« *corrente di griglia schermo* »), poichè però la tensione anodica è normalmente più alta di quella della griglia schermo, la placca riesce ad attirare su di sè la maggior parte di elettroni. Poichè le due griglie hanno fra loro una distanza più piccola di quella fra anodo e griglia di controllo, l'effetto della griglia schermo sul catodo è più forte di quello dell'anodo.

L'aumento della tensione positiva della griglia schermo ha la stessa influenza della tensione anodica: all'aumentare di questa (fig. 32*b*) le curve caratteristiche della corrente anodica si spostano sempre più verso sinistra nel campo delle tensioni negative, in modo che si ha a disposizione un tratto rettilineo di caratteristica sempre più lungo nel campo della corrente di griglia nulla (griglia 1 negativa).

La controreazione della griglia 2 sulla 1 sarebbe però molto forte. E' per questo che essa è sempre collegata al catodo K con un grosso condensatore C (fig. 37a), non può esserci

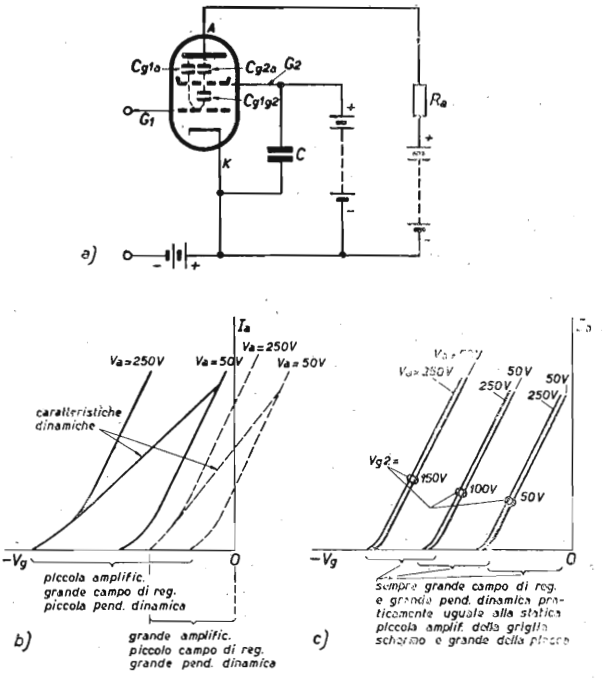

Fig. 37

mai una tensione alternata su di essa, perchè è praticamente in cortocircuito. Non è quindi possibile la controreazione, perchè questa presuppone la presenza di una tensione alternata.

Al di là della seconda griglia c'è l'anodo. Esso ha un effetto molto piccolo sulla corrente proveniente dal catodo poichè fra esso e il catodo ci sono ora due griglie che limitano la sua azione rispetto a quella della griglia controllo. Ciò corrisponde ad un aumento del fattore di amplificazione. Inoltre molte delle linee di forza del campo che parte dall'anodo si fermano sulla griglia 2 e solo poche arrivano alla griglia 1, la griglia 2 schermo cioè la griglia 1 rispetto all'anodo e con ciò viene diminuita la capacità C_{g1a} attraverso la quale la tensione anodica potrebbe influenzare la tensione della griglia controllo. La griglia G_2 scherma la griglia controllo rispetto all'anodo viene perciò chiamata « *griglia schermo* ».

Il suo impiego ha un ulteriore vantaggio: in un triodo con una bassa amplificazione le caratteristiche, anche con tensione anodica bassa, si trovano abbastanza a sinistra, cioè nel campo delle tensioni negative di griglia, però sono molto distanziate una rispetto all'altra, molto inclinate e la pendenza è piccola. Il *campo di regolazione* è perciò esteso. Con una amplificazione maggiore le caratteristiche si avvicinano una all'altra e la pendenza aumenta. Purtroppo le caratteristiche si spostano anche verso destra, verso il campo delle tensioni positive di griglia in modo che il campo di regolazione ne risulta di molto ridotto (fig. 37*b*). Un campo di regolazione più esteso si potrebbe ottenere con una tensione anodica molto alta che corrisponde a delle caratteristiche spostate verso sinistra. Questo spostamento nei « tetrodi » o « *valvole a griglia schermo* » è provocato dalla griglia 2 e l'anodo basta che abbia una tensione superiore a G_2, la sua tensione ha una minima influenza sulla corrente anodica. Poichè le caratteristiche sono molto vicine l'una all'altra, la pendenza dinamica è alta, è quasi uguale a quella statica. Non si fa quindi un errore molto grosso se si calcola l'amplificazione di tensione moltiplicando la pendenza per la resistenza esterna. Nei tetrodi, a causa dell'alto fattore di amplificazione, è molto alta anche la resistenza interna.

Perciò nei tetrodi non si può scegliere, come nei triodi, la resistenza esterna più alta di quella interna, ma pur scegliendola più piccola si ottengono ugualmente delle alte amplificazioni.

Il pentodo

Nei tetrodi può capitare che una alta tensione alternata di griglia provochi una così alta tensione alternata sulla placca da fare in modo che, durante la semionda negativa della tensione anodica, la tensione di placca sia più bassa della tensione di griglia schermo che rimane costante. Questo è un inconveniente del tetrodo. Infatti gli elettroni che urtano contro l'anodo fanno uscire da esso altri elettroni (« *emissione secondaria* » per distinguerla dalla « *emissione primaria* » del catodo). Fino a che la tensione della placca è più positiva di quella della griglia schermo non succede niente, poichè gli elettroni secondari finiscono con il ricadere sull'anodo. Pero se la tensione anodica scende al di sotto della tensione di griglia schermo, questa attira su di sè gli elettroni secondari, diminuendo la corrente anodica. Per ridurre l'effetto della emissione secondaria si può scegliere sufficientemente grande la distanza fra l'anodo e la griglia schermo. Si forma allora fra questi due elettrodi una carica spaziale che impedisce il ritorno degli elettroni sulla griglia schermo.

Queste valvole vengono impiegate qualche volta e si chiamano valvole a « *distanza critica* ». Un'altro sistema è quello di introdurre una terza griglia (G_3) per frenare gli elettroni secondari fra l'anodo e la griglia schermo (questa terza griglia si chiama « *griglia di soppressione* »). Essa viene collegata direttamente al catodo della valvola percio, anche nella semionda negativa della tensione anodica, essa è più negativa dell'anodo in modo che gli elettroni non possono

superarla e devono ritornare sull'anodo. Essa sopprime l'effetto della emissione secondaria. Poichè l'introduzione della terza griglia in queste valvole a cinque elettrodi (« *pentodi* ») ha anche il vantaggio di diminuire ancora la capacità fra anodo e griglia controllo e di aumentare il fattore di amplificazione, esse si sono molto estese ed hanno praticamente sostituito tutti i tetrodi (esclusi quelli a distanza critica).

Nella fig. 37*a* si vedono due capacità che non c'erano nel triodo e precisamente le capacità fra griglia schermo e griglia controllo ($C_{g_1g_2}$) e fra griglia schermo e anodo (C_{g_2a}). Poichè però la griglia schermo si può considerare collegata direttamente al catodo (C ha una capacità così elevata che si può pensare un cortocircuito per tutte le frequenze che si presentano in pratica), $C_{g_1g_2}$ è in parallelo a C_{g_1k} e C_{g_2a} è in parallelo a C_{ak}. Percio le capacità di un tetrodo e naturalmente anche di un pentodo sono più elevate di quelle di un triodo, però in quest'ultimo c'è una capacità dannosa che è praticamente nulla nei tetrodi e pentodi.

Ulteriori possibilità delle valvole

Se si applica la tensione a frequenza fonica che si genera sulla resistenza di carico R di un diodo Z fra la griglia e il catodo di un triodo (che ha una cuffia sul circuito anodico, fig. 38*a*), allora la tensione che si ha ai capi di R viene applicata direttamente alla valvola amplificatrice. Il terminale di R diretto verso l'anodo del diodo ha una leggera tensione negativa che diventa sempre più negativa all'aumentare della tensione alternata del circuito in entrata. Con ciò anche la griglia del triodo diventa più negativa e la corrente anodica diminuisce; cioè con modulazione la tensione alternata di griglia di V e la sua corrente alternata stanno al di sotto dei valori di riposo che si avrebbero senza segnale in alta frequenza (fig. 38*b*).

Se si rinuncia al diodo (fig. 39*a*) la griglia del triodo si comporta come l'anodo del diodo e in modo completamente analogo si ha una tensione decrescente all'arrivo dell'alta frequenza. Se l'alta frequenza è modulata varia anche la tensione ai capi della « *resistenza di griglia* » R_g che si trova in parallelo con un « *condensatore di griglia* » C_g, cioè la ten-

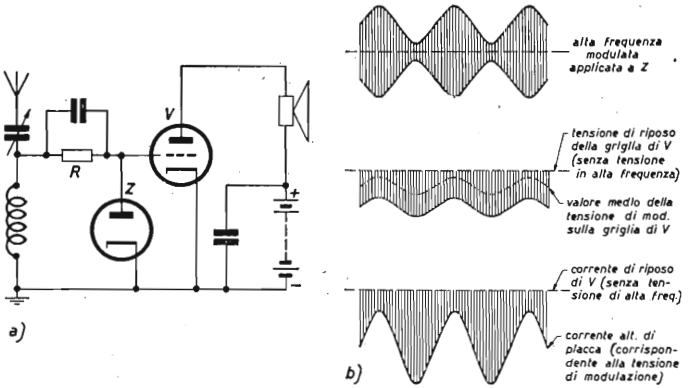

Fig. 38

sione sulla griglia del triodo. Poichè la griglia comanda la corrente anodica, questa varia nel ritmo della modulazione e si ha anche in questo caso una amplificazione. La valvola funziona quindi contemporaneamente da « *raddrizzatore di griglia* » e da amplificatore. Questo circuito si chiama « *audion* ». Normalmente non si può portare una tensione alternata troppo alta sulla griglia perchè altrimenti la corrente alternata diminuisce troppo (fig. 39*b*) e s'arriva sul ginocchio della caratteristica $i_a V_g$ (fig. 32*b*), si ottengono cioè delle distorsioni che si hanno anche nel caso in cui la tensione ad alta frequenza applicata sia troppo piccola, cioè

quando si lavora ancora nel campo in cui la caratteristica della corrente di griglia (considerata come l'anodo di un diodo) è ancora curva. Poichè nell'audion c'è sempre una corrente di griglia, esso assorbe sempre una certa potenza come capita nei diodi.

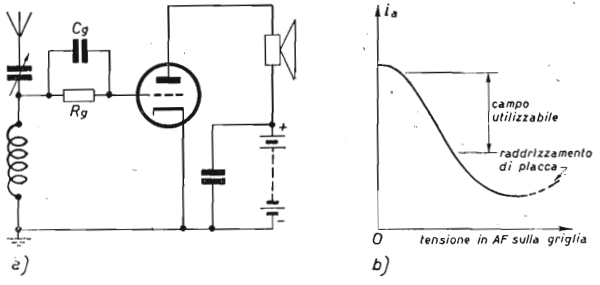

Fig. 39

Se si applica alla griglia una tensione di polarizzazione così negativa da annullare la corrente anodica (fig. 40), allora l'alta frequenza applicata alla griglia può fare passare una corrente anodica solo durante le due semionde positive e non durante le negative. Con la modulazione la corrente anodica media varia in corrispondenza (fig. 40*b*). Poichè per il raddrizzamento entra in questo caso in gioco la caratteristica della corrente anodica si parla di « *raddrizzamento di placca* » ed anche di « raddrizzatore-amplificatore », perchè anche in questo caso si ha naturalmente una amplificazione. La griglia controllo è molto negativa, quindi non si ha mai corrente di griglia, perciò la valvola a raddrizzamento di placca può essere comandata senza bisogno di spendere potenza. Si noti che nell'audion quando il segnale è molto alto, cioè quando la corrente anodica diminuisce

molto può arrivare nel campo del raddrizzamento di placca e perciò al raddrizzamento di griglia può aggiungersi quello di placca.

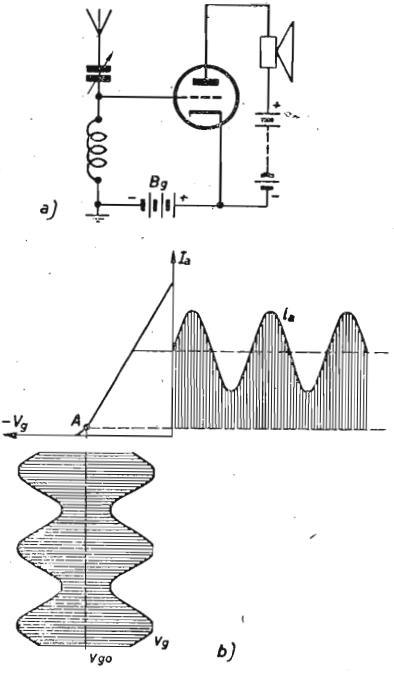

Fig. 40

Nei ricevitori di alta e media qualità si impiegano per il raddrizzamento solo i doppi diodi. Oggi si usano molto spesso dei diodi al germanio e il collegamento con l'amplificatore seguente si fa con un condensatore (fig. 41); la griglia della

valvola amplificatrice viene mantenuta ad una tensione continua negativa fissa scelta, in modo da avere le minime

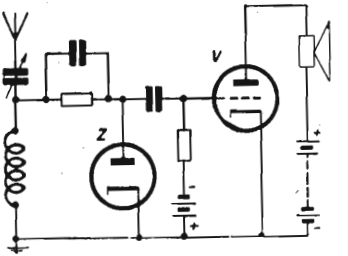

Fig. 41

distorzioni. Le moderne valvole finali che abbisognano di un basso segnale di comando possono essere comandate direttamente dalla tensione in alta frequenza.

Per la consultazione

Alla fine del quinto opuscoletto di questa serie esiste un indice analitico di tutta la materia trattata. Esso è molto utile per la consultazione.

L. 550